THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE BESANÇON

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES NATURELLES

PAR

J.-A. CL. ROUX

LICENCIÉ ÈS SCIENCES NATURELLES

1re THÈSE. — Études historiques, critiques et expérimentales sur les rapports des Végétaux avec le Sol, et spécialement sur la Végétation défectueuse et la Chlorose des Plantes silicicoles en sols calcaires.

2e THÈSE. — Propositions données par la Faculté.

Soutenues le 5 avril 1900 devant la Commission d'examen

MM. ANT. MAGNIN, *Président*
CHARBONNEL-SALLE, FOURNIER, *Examinateurs*

MONTPELLIER

IMPRIMERIE SERRE ET ROUMÉGOUS, RUE VIEILLE-INTENDANCE, 5

1900

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546501_0049

TRAVAUX ANTÉRIEURS DE L'AUTEUR

1895. — **Rapport sur l'excursion des délégués des Facultés de France en Ardenne et Belgique. Compte rendu de la visite au Museum de Bruxelles et aux mines de Lens.** (Extr. des *Annales de la Société géologique du Nord*, t. XXIV, 1896 ; 1 broch. in-8).

1895. — **Etudes géologiques sur les Monts Lyonnais.** Fascic. I (pages 1 à 44) : **Histoire orotectonique des Monts Lyonnais et du Plateau Central depuis l'origine jusqu'à nos jours.** (Extr. des *Annales de la Soc. Linnéenne de Lyon*, t. XLII, 1895).

1896. — **Atlas manuel de 50 planches d'anatomie comparée,** avec légendes explicatives (in-4, polygraphié en couleurs ; en collaboration avec M. Donnadieu, docteur ès sciences).

1896. — **Etudes géologiques sur les Monts Lyonnais.** Fascic II (pages 44 à 145) : **Géologie proprement dite ; description et gisements des Roches et Minéraux.** Avec 6 coupes, cartes et plans. (Extr. des *Ann. de la Soc. Linnéenne de Lyon*, t. XLIII, 1896).

1898. — **Rapport sur l'excursion de la Société Linnéenne à la vallée de l'Yzeron.** (Extr. de *l'Echange, Revue Linnéenne de la Région lyonnaise*).

1898. — **Etudes géologiques sur les Monts Lyonnais.** Fascic. III (pages 145 à 192) : **Géologie appliquée à la Climatologie, à l'Hydrologie, à la Zoologie** (le sol et les animaux) **et à la Botanique** (le sol et les plantes spontanées). (Extr. des *Ann. de la Soc. Linnéenne de Lyon*, t. XLV, 1898).

1899. — **Végétation défectueuse et Chlorose des Plantes silicicoles en sols calcaires.** (Extr. des *Ann. de la Soc. Linnéenne de Lyon*, t. XLVI, 1899 ; 1 broch. 12 p.).

N° 7

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ

DE BESANÇON

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES NATURELLES

PAR

J.-A. CL. ROUX

LICENCIÉ ÈS SCIENCES NATURELLES

1re THÈSE. — Études historiques, critiques et expérimentales sur les rapports des Végétaux avec le Sol, et spécialement sur la Végétation défectueuse et la Chlorose des Plantes silicicoles en sols calcaires.

2e THÈSE. — Propositions données par la Faculté.

Soutenues le 5 avril 1900 devant la Commission d'examen

MM. ANT. MAGNIN, *Président*
CHARBONNEL-SALLE, FOURNIER, *Examinateurs*

ACAD. DE BESANÇON BIBL.

MONTPELLIER

IMPRIMERIE SERRE ET ROUMÉGOUS, RUE VIEILLE-INTENDANCE, 3

1900

UNIVERSITÉ DE BESANÇON

FACULTÉ DES SCIENCES

Doyen : M. BOUTROUX.

Assesseur : M. SAINT-LOUP.

Professeurs : M. GRUEY, doyen honoraire. Astronomie.

M. STOUFF, Calcul différentiel et intégral.

M. SAINT-LOUP, doyen honoraire. Mécanique rationnelle et appliquée.

M. JOUBIN, Physique.

M. BOUTROUX, Chimie générale.

M. GENVRESSE, Chimie industrielle et agricole.

M. FOURNIER, chargé du cours. Géologie et Minéralogie.

M. CHARBONNEL-SALLE, Zoologie.

M. MAGNIN, Botanique.

M. PARMENTIER, chargé du cours. Botanique agricole.

Secrétaire de l'Université : M. SUFFREN.

A Mon Maître

Monsieur le Docteur Antoine MAGNIN

Professeur de Botanique à la Faculté des Sciences
et à l'École de Médecine
Directeur de l'Institut botanique de Besançon

A Monsieur le Docteur SAINT-LAGER

Bibliothécaire de la Ville de Lyon (Palais des Arts)
Membre de l'Académie de Lyon

Hommage respectueux et reconnaissan
de leur disciple.

J.-A. CL. ROUX.

A MES PARENTS

Hommage d'affection et de reconnaissance filiales.

J.-A. CL. ROUX.

PREMIÈRE THÈSE

ÉTUDES

HISTORIQUES, CRITIQUES ET EXPÉRIMENTALES

SUR LES

RAPPORTS DES VÉGÉTAUX AVEC LE SOL

ET SPÉCIALEMENT SUR LA

VÉGÉTATION DÉFECTUEUSE ET LA CHLOROSE

DES

PLANTES SILICICOLES EN SOLS CALCAIRES

AVANT-PROPOS

« *Dignoscitur ex sola inspectione plantarum subjecta terra et solum* ». Linné, Philosophia botanica, 1751.

Les recherches scientifiques qui constituent la partie originale et le fond même de ce travail ont été effectuées sous la haute et bienveillante direction de M. le Professeur Dr Ant. Magnin, le savant directeur de l'*Institut botanique* de Besançon.

Bien qu'éloigné de notre Maître, nous nous sommes tenu en relation constante avec lui ; nous sommes heureux de le remercier ici de l'intérêt amical qu'il nous a témoigné, et des conseils et renseignements précieux qu'il nous a prodigués.

D'autres savants maîtres, feu le Dr Pravaz, M. le Professeur Gérard, M. le Dr Beauvisage, ont, à des titres divers, commmencé notre éducation scientifique et nous ont élevé jusqu'au seuil du Doctorat.

Notre cœur ne les oublie point et leur garde un souvenir reconnaissant.

Mais nul n'était à même, mieux que le Dr Magnin, de nous guider dans le sujet que nous avons traité, car nul ne connaît mieux que lui les grandes et intéressantes questions de la Géographie botanique et en particulier la *Végétation des régions lyonnaise, bressanne, jurassienne et comtoise.* C'est donc avec une joie toute spéciale que nous avons vu nos efforts soutenus et encouragés par

M. le Dr Magnin, dont nous nous honorons d'être à la fois le disciple et le concitoyen.

Notre reconnaissance envers lui n'a d'égale que celle à laquelle a droit aussi M. le Dr J. Saint-Lager, le savant bibliothécaire du Palais des Arts de Lyon. Par sa bienveillance sans bornes et par l'universalité de ses connaissances, le Dr Saint-Lager est toujours consulté avec fruit, telle une encyclopédie vivante, par maîtres et étudiants, et surtout par les adeptes de la Botanique. En effet, le Dr Saint-Lager est sans conteste l'un des plus éminents botanistes français, et nul n'ignore quels services immenses il a rendus à la Science des Plantes. La doctrine de l'appétence géique des plantes a trouvé en lui son plus éloquent et solide champion. Ses œuvres sont pleines d'enseignements et de logique, et son *Catalogue de la Flore du Bassin du Rhône*, ainsi que l'*Etude des Fleurs* de l'abbé Cariot, remaniée par lui, sont des *vademecum* indispensables à tout botaniste amateur ou professionnel.

Nous sommes honoré et fier d'avoir pu recevoir, presque journellement, ses enseignements et ses conseils, et de nous compter au nombre de ses disciples convaincus et respectueux.

Nous tenons aussi à exprimer notre respectueuse gratitude et nos sincères remerciements :

A M. l'abbé Rey, curé de Pomeys (Rhône), qui, en nous facilitant la récolte et l'expédition de notre terre siliceuse, nous a donné une nouvelle preuve de son affectueux intérêt et de sa grande bonté à notre égard ;

A M. A. Collet, docteur ès sciences, professeur de Chimie agricole, qui a eu l'obligeance gracieuse d'exécuter, en toute compétence et conscience, les analyses

mécanique, physico-chimique et chimique de nos terres d'expérience, et qui nous a éclairé de ses conseils et de ses renseignements pour tout ce qui touche aux délicates questions de la Chimie végétale ;

Au Frère Hildebert, botaniste émérite et professeur d'allemand au pensionnat des Chartreux, à Lyon, qui nous a rendu un précieux service en mettant gracieusement ses connaissances à notre disposition pour la traduction difficile des ouvrages scientifiques allemands ;

A M. le Professeur A.-L. Donnadieu, docteur ès sciences, bien connu par ses travaux de photographie scientifique, qui a bien voulu exécuter nos photographies de microorganismes et nous permettre de fixer fidèlement nos séries de plantes au moyen de son ingénieux physiographe universel ;

A MM. les professeurs Peuch et Louis Blanc, de l'Ecole vétérinaire de Lyon, qui ont facilité nos recherches à la Bibliothèque de cet Institut ;

A M. le Bibliothécaire de l'Ecole nationale d'agriculture d'Ecully ;

A M. Cazeaux-Cazalet, président du Comice agricole de Cadillac (Gironde), qui nous a autorisé à reproduire quatre planches de son excellent travail sur la Chlorose des Vignes ;

A M. Félix Sahut, de Montpellier, qui, bien avant et depuis sa découverte du phylloxera, a rendu tant de services à la Viticulture et à l'Agriculture ;

A M. Ant. Guinand, président de la Commission d'enseignement de l'Union du Sud-Est des Syndicats agricoles, et MM. Jusseaud, pépiniéristes, qui nous ont permis de recueillir des observations et des matériaux d'études dans leurs propriétés de Sainte-Foy-les-Lyon ;

A nos amis dévoués Ant. Villard, de Chasselay, membre du Comice agricole de Limonest (Rhône), et Aug. Rave, viticulteur à Theizé (Rhône) ;

Et à toutes les personnes qui par leurs conseils, leurs renseignements et leurs encouragements, nous ont permis de mener notre tâche à bien.

MM. Coulet, nos excellents éditeurs, ont droit aussi à toute notre gratitude et à nos meilleurs remerciements pour tout le soin qu'ils ont apporté à la bonne et rapide exécution de notre travail. Nous sommes donc heureux de pouvoir leur exprimer ici toute notre satisfaction.

Nous eussions désiré opérer nos expériences et nos recherches dans des conditions meilleures encore et les appuyer par des essais pratiques de grande culture en terrain varié. Mais si l'homme propose, il ne dispose pas toujours à son gré. Nous sollicitons donc l'indulgence pour les inexactitudes ou les oublis qui peuvent s'être glissés dans notre travail.

Si nos efforts ont pu concentrer l'attention et provoquer de nouvelles études pratiques sur l'importante question biologique des *relations des plantes et de leurs affections chlorotiques avec le substratum géique*, nous serons amplement récompensé et nous estimerons avoir rendu service à la Botanique agricole, car provoquer la discussion c'est consolider la solution.

Lyon, 1er janvier 1900.

C. Roux.

TABLE DES MATIÈRES

PAGES

AVANT-PROPOS VII

PREMIÈRE PARTIE

RAPPORTS DES PLANTES AVEC LE SOL

CHAPITRE PREMIER

LES ALIMENTS MINÉRAUX ET LES RELATIONS DES PLANTES AVEC LES MILIEUX

I. **Importance et complexité du sol végétal** 1

II. **Aliments des plantes** 3

III. **Absorption, Utilisation et Dépôt des matières minérales dans les Plantes** 9

IV. **Influence des milieux sur les végétaux**

A. INFLUENCES EXTRINSÈQUES

1° *Influences climatologiques* (climat, altitudes, latitudes, exposition, proximité de la mer, température, lumière) 25

2° *Influence des conditions physiques du milieu pondérable* (influence physique de l'atmosphère, de l'eau et du sol) 29

3° *Influence de la composition chimique du milieu* (atmosphère, eau et sol) 34

4° *Influences intrinsèques spéciales :* Concurrence vitale, etc. 40

B. INFLUENCES INTRINSÈQUES ou individuelles. 43

C. CONCLUSIONS GÉNÉRALES 44

CHAPITRE DEUXIÈME

REVUE HISTORIQUE DES PRINCIPAUX TRAVAUX RELATIFS A L'INFLUENCE DU SOL SUR LA VÉGÉTATION 45

CHAPITRE TROISIÈME

INFLUENCE DE LA COMPOSITION CHIMIQUE DU SOL

A. Preuves tirées du raisonnement 93

I. Influence du carbonate de chaux (flores calcicole et calcifuge) 94

II. Influence du chlorure de sodium (flore sodicole) 105

III. Influence de la potasse (flore kaliphile) 106

IV. Influence du gypse et de la dolomie (flores talcicole, gypsicole et dolomiticole) 107

V. Influence des sels divers (flores sidérophiles, nitrophiles, etc.) 108

B. Preuves tirées de l'observation

VI. Exceptions et anomalies (contrastes en petit, colonies hétérotopiques)

1° *Inattention ou ignorance*

a. Détermination à distance 109
b. Plantes transportées ou subspontanées 110
c. Défaut de connaissances géologiques 110
d. Sous-sol et sol différents 111

2° *Roches siliceuses calcifères*

a. Roches siliceuses calcifères en elles-mêmes 112
b. Roches siliceuses calcifères après décomposition 113

3° *Sols mixtes, erratiques et artificiels*

α. Sols mixtes

a. Sols mixtes des Alpes 120
b. Alluvions 120
c. Eboulis 121
d. Sol à composition variable 121
e. Terrains décalcifiés 122

β. Sols très restreints

a. Blocs erratiques .. 123
b. Filons 123
c. Lambeaux isolés .. 124
d. Terrains embrouillés 124

γ. Sols artificiels et divers

a. Débris et décombres 125
b. Mortier des murs, etc. 125
c. Chaux des amendements 125
d. Eaux d'infiltration. 126

4° *Proximité des massifs à composition différente* 126
5° *Causes spéciales : suppléances d'actions*, etc. 127
6° *Exceptions vraies : Formation de variétés adaptées au sol*, etc. 128

C. Preuves tirées de l'expérimentation

I. Expériences indirectes

1° *Jardins botaniques* 130
2° *Arboriculture* 131
3° *Viticulture* 132
4° *Agriculture générale* 132
5° *Expériences indirectes diverses* 133

II. Expériences directes

1° *Chlorure de sodium* 134
2° *Sels divers* 135
3° *Plantes calcicoles en sols siliceux* 137
4° *Plantes silicicoles en sols calcaires* 139

CHAPITRE QUATRIÈME

EXPÉRIENCES PERSONNELLES : EXPOSÉ GÉNÉRAL

I. Dispositif des expériences
- A. Origine des terres employées 147
- B. Tamisage des terres employées 149
- C. Analyses mécanique, physico-chimique et chimique des terres employées 150
- D. Constitution des sols a doses progressives de calcaire 152
- E. Récipients 155
- F. Espèces expérimentées 155
- G. Entretien des cultures 156

II. Marche des cultures
- 1° Semis
  - *a.* Germination 157
  - *b.* Végétation post-germinative 158
  - *c.* Conclusions des semis 165
- 2° Transplantations
  - *a.* Observations générales 166
  - *b.* Conclusions des transplantations .. 174

CHAPITRE CINQUIÈME

ETUDE MORPHOLOGIQUE DES PLANTES EXPÉRIMENTÉES

I. Morphologie externe
- 1° Plantes semées 172
- 2° Plantes transplantées 176
- 3° Conclusions 177

II. Morphologie interne
- 1° Racine
  - a. *Différenciation histologique générale* 178
  - b. *Contenu cellulaire en particulier* ... 179
- 2° Tige
  - a. *Différenciation histologique* 180
  - b. *Contenu cellulaire* 180
- 3° Feuille
  - a. *Différenciation histologique générale* 181
  - b. *Contenu cellulaire* : Membrane, chloroleucites, amyloleucites, suc cellulaire, protoplasme, sécrétions, etc 183
- 4° Conclusions générales 184

CHAPITRE SIXIÈME

ETUDE DU ROLE PHYSIOLOGIQUE DU CALCAIRE ET DES PRINCIPAUX SELS MINERAUX

I. **Rôle physiologique du carbonate de chaux**
- A. Avant son absorption 190
- B. Pendant son absorption 190
- C. Après son absorption
  - α. Action nuisible. 191
  - β. Action utile 195

II. **Rôle physiologique de l'oxalate de chaux.** 198
III. **Rôle physiologique des autres sels de chaux** 200
IV. **Rôle physiologique de la chaux (CaO)** 200
V. **Rôle physiologique de la silice** 204
VI. **Rôle physiologique de la potasse** 205
VII. **Rôle physiologique de la soude** 206
VIII. **Rôle physiologique de la magnésie** 208
IX. **Rôle physiologique des sels de fer** 209
X. **Rôle physiologique des autres sels métalliques** 209

CHAPITRE SEPTIÈME

CONCLUSIONS GÉNÉRALES ET APPLICATIONS

I. **Conclusions générales** (avec tableau des plantes classées selon leurs appétences chimiques et leurs préférences physiques) .. 211

II. **Applications diverses**
- A. Applications a l'examen des terres végétales 218
- B. Applications a la préparation du sol (amendements et engrais, marnage, chaulage, plâtrage, etc.) 223
- C. Applications aux cultures diverses et a l'agriculture locale 229
- D. Applications a l'alimentation végétale des animaux domestiques 232
- E. Applications diverses 235

DEUXIÈME PARTIE

ÉTUDE SPÉCIALE DE LA CHLOROSE

CHAPITRE PREMIER

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES 237

CHAPITRE DEUXIÈME

REVUE HISTORIQUE DES PRINCIPAUX TRAVAUX RELATIFS A LA CHLOROSE ET AUX DIVERSES ALTÉRATIONS OU COLORATIONS DYSTROPHIQUES DES FEUILLES 241

CHAPITRE TROISIÈME

LA CHLOROSE DES PLANTES SILICICOLES EN SOLS CALCAIRES
II. Recherches personnelles sur la chlorose des plantes en sols calcaires
I. Principales observations antérieures sur l'influence du calcaire dans l'étiologie de la chlorose
1° Arboriculture 263
2° Horticulture et cultures diverses 264
3° Viticulture 266
4° Chlorose des plantes diverses 268
A. Études de morphologie externe
1° Sur nos plantes expérimentées 269
2° Sur des plantes diverses 271
3° Exposé des caractères extérieurs des plantes chlorotiques
a. Plante entière
α. *Localisation et intensité de la chlorose* 273
β. *Rabougrissement chlorotique* 274
b. Divers organes pris séparément
α. *Tiges et pétioles* 274
β. *Feuilles* 275
γ. *Racines* 278
δ. *Organes reproducteurs* 280
B. Études de morphologie interne
1° Sur nos plantes expérimentées 281
2° Sur des plantes diverses 286
3° Exposé des caractères microscopiques des plantes chlorotiques
a. Feuille
α. *Histologie générale*
1° Epaisseur des mésophylles 289
2° Epiderme. Poils 290
3° Répartition des cellules saines et altérées 291
β. *Histologie spéciale* (contenu cellulaire)
1° Membrane 292
2° Chloroleucites 292
3° Amyloleucites 301
4° Hydroleucites (suc cellulaire) 302
5° Protoplasme 303
6° Noyau 303
7° Cristaux intracellulaires 304
8° Cristalloïdes protéiques 305
9° Corpuscules mobiles 308
b. Tige
α. *Histologie générale* 330
β. *Contenu cellulaire* 330
c. Racine
α. *Histologie générale* 331
β. *Contenu cellulaire* 332

CHAPITRE QUATRIÈME

ÉTUDE PHYSIOLOGIQUE DU PROCESSUS CHLOROTIQUE 334
I. Absorption et conduction 335
II. Élaboration 338
III. Résumé 357

CHAPITRE CINQUIÈME

EXAMEN CRITIQUE DES DIVERSES CAUSES GÉNÉRATRICES OU MODIFICATRICES DE LA CHLOROSE 359

I. Causes intrinsèques
- 1° Causes géiques (état chimique et physique du substratum)
  - A. État chimique
    - α. Sol en général
      - 1. Sols trop fertiles. 360
      - 2. Sols pauvres 361
      - 3. Sols incomplets 361
      - 4. Sols acides 362
    - β. Éléments chimiques du sol pris séparément
      - 5. Calcaire 362
      - 6. Plâtre, Gypse 364
      - 7. Dolomie, Magnésie 365
      - 8. Sel marin 366
      - 9. Potasse 366
      - 10. Fer 366
      - 11. Silice 370
      - 12. Phosphates et acide phosphorique 371
      - 13. Azote et nitrates 371
      - 14. Acide carbonique 372
      - 15. Sels divers 372
  - B. État physique et topographique
    - α. Sol en général
      - 16. Tassement, compacité 373
      - 17. Manque de profondeur 373
      - 18. Couleur 374
      - 19. Humidité 374
      - 20. Sécheresse 377
      - 21. Chaleur 378
      - 22. Froideur du sol 378
      - 23. Configuration 378
    - β. Éléments physiques pris séparément
      - 24. Etat physique du calcaire 379
      - 25. Argile, sols argileux 380
      - 26. Sable 382
      - 27. Humus, matières organiques 383
- 2° Causes météorologiques
  - α. Climat
    - 28. Climat en général 383
    - 29. Températures chaudes 383
    - 30. Températures froides 384
    - 31. Pression atmosphérique 385
    - 32. Agitation atmosphérique 386
    - 33. Composition de l'atmosphère 386
  - β. Lumière
    - 34. Excès 386
    - 35. Insuffisance 387
- 3° Causes agrotechniques
  - 36. Culture générale 388
  - 37. Greffage 389
- 4° Causes animées
  - 38. Action des animaux 390
  - 39. Action des végétaux 391
  - 40. Action des microorganismes 392

II. Causes intrinsèques
- 41. Hérédité 393
- 42. Tempérament individuel 394
- 43. Causes intrinsèques diverses 397

III. Causes diverses
- 44. Causes mixtes et multiples 398
- 45. Causes accidentelles 398

IV. Tableau résumé et comparatif des causes atténuantes et aggravantes 400

V. Conclusions. Erreurs d'interprétation 399

CHAPITRE SIXIÈME

DIAGNOSTIC ET DÉFINITION DE LA CHLOROSE OU FLAVESCENCE, ET DES PRINCIPALES ALTÉRATIONS TROPHIQUES DES FEUILLES 406

I. Principaux états dystrophiques des feuilles

1° Flavescence ou Chlorose proprement dite 408
2° Etiolescence ou Tabescence ou Etiolement propr. dit. 423
3° Sénilescence ou Dépérissement 426
4° Variescence
- a. *Variescence ou panachure proprement dite* 430
- b. *Aurescence* 431
- c. *Albescence* 431
- d. *Argyrescence* 432
- e. *Rubescence* 432
- f *Nigrescence* 433
- g. *Pluricolorescence* 433

5° Pumilescence ou Nanisme 437

II. Tableau synoptique général.

CHAPITRE SEPTIÈME

CONCLUSIONS GÉNÉRALES 439

Errata et addenda 443
Planches et leurs légendes.
Table des auteurs cités 449
Table des noms de lieux 457
Table des plantes et des cépages cités et étudiés 461

PREMIÈRE PARTIE

ÉTUDES

HISTORIQUES, CRITIQUES ET EXPÉRIMENTALES

SUR LES

RAPPORTS DES VÉGÉTAUX AVEC LE SOL

ET SPÉCIALEMENT SUR LA

VÉGÉTATION DÉFECTUEUSE DES PLANTES SILICICOLES EN SOLS CALCAIRES

CHAPITRE PREMIER

LES ALIMENTS MINÉRAUX ET LES RELATIONS DES PLANTES AVEC LES MILIEUX

I. — IMPORTANCE ET COMPLEXITÉ DU SOL VÉGÉTAL

L'histoire des relations des plantes avec leur substratum est l'un des chapitres les plus complexes et les plus controversés de la Botanique.

Complexité du sol végétal.— Opinion des chimistes agronomes.— Un de nos plus célèbres chimistes, Boussingault, avouait il y a près d'un demi-siècle, son ignorance du sol : « Ce qui caractérise le sol cultivable, dont le fond consiste nécessairement en substances minérales désagrégées, c'est la présence de débris organiques plus ou moins modifiés, tels que l'humus

et le terreau. La terre végétale proprement dite résulte de cette association ; quant à sa nature intime, je ne crains pas d'affirmer que, malgré son apparente simplicité, nous ne la connaissons encore que très imparfaitement. Je ne veux en apporter ici d'autre preuve que cette faculté absorbante que le sol exerce sur l'ammoniaque, sur la chaux, sur la potasse, sur les sels de ces diverses bases ; actions aussi mystérieuses qu'imprévues, dont nous devons la connaissance à MM. Thompson et Way ».

Onze ans plus tard, en 1870, Raulin disait encore, malgré les progrès rapides de la chimie agricole : « Le sol et l'atmosphère sont trop complexes pour qu'on puisse suivre directement toutes les transformations chimiques de leurs éléments, transformations qui se rattachent à l'étude chimique de la végétation ».

Mais, ajoutera-t-on, la chimie, depuis cette époque pourtant très récente, s'est considérablement enrichie. Il est vrai. Néanmoins, l'analyse exacte ou les analyses approchées habituellement employées dans les laboratoires de chimie agricole ne donnent, ainsi que le font remarquer MM. Berthelot et André, qu'une idée très éloignée des ressources actuelles que la terre offre aux végétaux ; l'action qu'exercent les racines est encore tout à fait inconnue et sans doute très différente de celle des réactifs. Au surplus, il y a quelques mois à peine, dans sa *Chimie végétale et agricole* (t. III, p. 186), M. Berthelot revenait, en ces termes, sur ce sujet : « Les plantes tirent leurs éléments minéraux du sol ; mais les voies et mécanismes suivant lesquels cette absorption a lieu sont fort obscurs : d'une part, les composés absolument insolubles ne peuvent agir qu'au contact des racines, contact nécessairement limité à d'étroites surfaces ; tandis que, d'autre part, la plupart des réactions produites par les composés solubles s'exercent sur leurs dissolutions étendues, mises en rapport avec les racines et y pénétrant conformément aux lois générales de l'endosmose, de la dialyse et de la capillarité. De là, divers phénomènes chimiques de combinaison, de décomposition, de dissociation développés entre les matières contenues dans le sol et les principes dissous dans la sève et autres liquides de la plante. L'effet de ces actions réu-

nies est de faire pénétrer dans les racines certaines substances, tandis que d'autres composés sont excrétés et se répandent en sens inverse dans le sol environnant ».

Nous serons malheureusement, au cours de ce travail, dans l'obligation de revenir à plusieurs reprises sur l'insuffisance actuelle des données acquises sur les phénomènes chimiques intimes qui se passent soit dans le sol, soit au niveau des poils absorbants, soit dans la profondeur des tissus et dans l'intérieur même des cellules de la plante. Toutefois, il est juste de le remarquer, nos connaissances chimiques et physiologiques progressent sans cesse, et bientôt le faisceau lumineux qui éclaire déjà ces phénomènes de la nutrition végétale sera suffisamment puissant pour nous en dévoiler les différents processus.

II.— ALIMENTS DES PLANTES

Définition de l'aliment. — Catégories d'aliments. — Tout corps qui pénètre dans la plante et qui, seul ou combiné à d'autres corps, concourt à sa nutrition constitue un *aliment*.

Les aliments sont { gazeux (oxygène, acide carbonique, azote), liquides (eaux), solides (matières organiques et minérales).

Alimentation minérale. — Historique. — Auteurs anciens. — Les anciens botanistes ne professaient que des opinions vagues et bizarres sur la nutrition des plantes, et sur leurs aliments minéraux en particulier. Il convient pourtant de mentionner Bernard Palissy qui, dès 1563, exposait dans son *Traité des sels et de l'agriculture* des idées assez justes sur la nutrition minérale, les cendres, les engrais, etc.

Bernard Palissy, en effet, avait entrevu l'importance de l'alimentation minérale, en disant que : les cendres que laissent les végétaux en brûlant proviennent du sol ; pour entretenir la fertilité du sol, il faut lui restituer ce que les récoltes lui ont enlevé ; la principale valeur du fumier réside dans sa richesse en matières minérales enlevées au sol par la plante ; les excréments de l'homme et des animaux doivent être rendus au sol parce

qu'ils sont formés de substances qui lui ont été enlevées par les récoltes, etc.

Ces idées passèrent complètement inaperçues et tombèrent dans l'oubli absolu. En 1804, De Saussure, dans ses *Recherches chimiques sur la végétation*, attira de nouveau l'attention des naturalistes sur les sels choisis et absorbés par les racines, et notamment sur la présence universelle du phosphate de chaux et de la potasse dans les cendres végétales. Malgré cela, ce fut la *théorie de l'humus* qui régna en maîtresse jusqu'en 1840.

Humphry Davy vers 1805, Thaër et Mathieu Dombasle vers 1830, Payen vers 1837, etc., écrivirent et professèrent, en effet, que l'humus seul, c'est-à-dire la matière organique morte, est un aliment pour les plantes, et que les matières minérales, sauf l'eau, sont seulement des *stimulants* et non des aliments, et qu'elles ne sont point indispensables. D'autres croyaient que l'eau et l'acide carbonique étaient les seuls aliments de la plante ; c'est ainsi qu'à la fin du XVIII[e] siècle et jusque vers 1825, Van Helmont, Boyle, Duhamel, Kraft, Bonnet, etc., ont soutenu que les métaux, alcalis et sels contenus dans les plantes étaient le produit de l'action et des réactions de l'eau sur les tissus organiques de la plante !

Liebig et l'alimentation minérale – Enfin, en 1840, dans sa *Chimie appliquée à l'Agriculture et à la Physiologie*, Liebig émit une opinion exagérément opposée. Ses 50 aphorismes agronomiques, publiés en 1855 (1), ont fait de lui le vrai fondateur de la nutrition minérale des plantes. Ce fut Liebig aussi qui, après A. Brongniart (C. R. Ac. Sc., 1828), donna l'explication scientifique du rôle des feuilles dans la décomposition de l'acide carbonique de l'air. D'après Liebig, ce sont donc les matières minérales seules et non les matières organiques qui donnent au sol sa fertilité et qui exercent une influence heureuse sur le développement des végétaux. L'humus n'a d'action que par son influence sur les propriétés physiques du sol et n'est d'aucune utilité directe pour la vigueur des plantes. Les idées de Liebig, grâce à l'autorité et à la réputation scientifiques de leur auteur, furent adoptées par les agronomes, les chimistes et les physiologistes.

---

(1) L'analyse et la traduction de ces aphorismes sont données par Edmond Gain dans son *Précis de chimie agricole* (1 vol., 1895).

Auteurs principaux sur la nutrition minérale. — Bœhm, Bokorny, Boussingault, Bréal, Dehérain, Dassonville, Demoussy, Dworzak, Grandeau, Heinrich, Knop, Kohl, Kreuzhaye, Lœw, Liebenberg, Lupke, Nobbe, Péligot, Raulin, Schrœder, Schimper, J. Vesque, G. Ville, Wolff et une foule d'autres savants expérimentateurs sont venus, depuis Liebig, démontrer, préciser et expliquer la nutrition minérale des plantes.

Absorption du carbone organique.—On sait cependant aujourd'hui que le carbone organique n'est pas sans utilité (1), bien que l'acide carbonique de l'air soit la principale source du carbone des plantes. Niée par Liebig, Grandeau, admise par Boussingault, Pétermann, Meyer, E. Laurent, Acton, Bokorny, Hansteen, J. Laurent, Mazé, etc., l'assimilabilité et l'absorption limitées du carbone organique paraissent aujourd'hui démontrées pour un certain nombre de plantes (Betterave, Chanvre, etc.), et les aliments organiques ont repris dans la science et la pratique agricoles, après l'engouement dont a joui la nutrition minérale, la place qui leur convient.

Absorption de l'azote gazeux. — D'autre part, les aliments gazeux, oxygène, acide carbonique, azote, etc., ont été l'objet de nombreuses recherches.

Dès 1837-38, Boussingault et après lui les Anglais Lawes, Gilbert et Pugh ont affirmé que les plantes ne fixent pas l'azote atmosphérique. Georges Ville, dans ses travaux de 1850 à 1890, a soutenu l'opinion contraire. La découverte par Berthelot (1884) de la fixation de l'azote gazeux par l'intermédiaire des microorganismes vint mettre un peu de clarté dans le débat, et aujourd'hui, grâce aux recherches de Hellriegel et Wilfarth (1886-1888) sur les nodosités et leurs bactéries, Müntz, Bréal (1888) sur les inoculations, et celles plus récentes de Schlœsing fils et Laurent, Prazmowsky, Beyerinck, Franck, Winogradsky, etc., nos idées sur l'alimentation azotée des plantes sont éclairées d'un jour nouveau.

Au surplus, d'après Schlœsing et Laurent, il n'y a pas que les Légumineuses qui soient capables de se nourrir d'azote libre: les

(1) H. Joulie. *De l'influence des matières organiques contenues dans la terre arable,* 1892 ; et nombreux autres travaux de divers auteurs.

Algues utilisent également ce corps à l'état gazeux. Georges Ville avait constaté déjà ce même phénomène avec le Cresson, le Colza, et Berthelot avec les Amarantes; Frank a expérimenté sur des Cryptogames, puis avec les Phanérogames suivantes: Avoine, Sarrasin, Asperge, Colza, Spargoutte, Chou, Lupin; toutes ces plantes ont absorbé de l'azote atmosphérique. Bréal a aussi constaté le fait avec le Cresson alénois. Or, dans toutes ces plantes, sauf les Légumineuses, on ne connaît, jusqu'à ce jour, aucune symbiose. (V. article de Vesque *in* : *Annales agronom.*, 1892).

Aliments minéraux. — Définition. — Solubilité. — Nous laisserons de côté, dans ce travail, les aliments organiques et gazeux des plantes, pour nous occuper exclusivement de leurs aliments minéraux.

Pour mériter le nom d'aliment des plantes, un corps minéral doit être soluble soit par lui-même, soit par les réactions qu'il subit dans le sol ou au contact de la plante. Mais, on ne saurait trop le répéter, le mot *soluble* est pris ici dans son *acception physiologique*, et ce n'est point seulement de la solubilité dans l'eau qu'il s'agit, mais surtout de la solubilité dans les sucs qui imprègnent la surface des racines et qui diffusent quelque peu dans le sol environnant.

Les aliments minéraux sont contenus naturellement dans la *terre végétale*, ou *sol*, qui résulte de la désagrégation mécanique et de la décomposition chimique des roches; ou bien ils sont surajoutés, apportés artificiellement par les engrais et les amendements.

Etat naturel et constitution chimique des aliments minéraux principaux. — Les aliments minéraux des plantes dérivent d'un certain nombre de corps simples, dont les principaux sont les suivants: O, C, H, Az, Ph, S, Si, K, Ca, Na, Mg, Fe, Mn.

Ces corps simples se présentent ordinairement à l'état naturel sous les formes suivantes :

L'oxygène, à l'état libre (atmosphère) ou combiné (eau).

Le carbone, à l'état combiné (acide carbonique, matières organiques).

L'hydrogène, combiné à l'oxygène dans l'eau.

L'azote, à l'état libre (atmosphère) ou combiné sous trois formes:

- azote nitrique (*nitrates*).
- azote ammoniacal (*ammoniaque*).
- azote organique (*matières organiques*).

Le phosphore est combiné sous forme d'*acide phosphorique* avec les bases pour donner des phosphates de chaux, de potasse, de magnésie, etc. Les sols volcaniques (1 à 2 pour 1000) en sont plus riches que les sols granitiques (moins de 0,5 pour 1000).

Le soufre est combiné à l'état d'*acide sulfurique*, de *sulfates*, etc. Les sols crayeux en sont presque privés.

Le silicium est combiné sous forme d'acide (silice) et de silicates de potasse, chaux, magnésie, etc., notamment dans les terrains primitifs.

Le chlore est combiné sous forme d'acide chlorhydrique et surtout de chlorures alcalins (chlorure de sodium, notamment, dans les terrains salifères).

Le potassium existe sous forme de chlorure, sulfate, nitrate, carbonate, etc. Les roches éruptives primitives et volcaniques sont toujours riches en potasse (3 à 7 o/o) ; les terres calcaires en sont ordinairement très pauvres, au contraire (causses de l'Aveyron, craie de la Champagne pouilleuse, etc.).

Le sodium est combiné sous forme de chlorure de sodium, nitrate, carbonate de soude, etc.

Le calcium, un des plus importants, se présente à l'état de phosphate de chaux et surtout de carbonate dans les terres calcaires. Nous étudierons précisément dans ce travail le rôle important joué par cet élément minéral.

Le magnésium existe sous forme de silicate et de carbonate.

Cet élément se trouve généralement partout en quantité suffisante.

Le fer est combiné sous forme d'oxydes, sulfates, carbonates, etc. Cet élément est nécessaire jusqu'à une dose variable selon les espèces, mais ordinairement minime et réalisée dans les sols.

Le manganèse existe à l'état d'oxydes et de sels divers dans différents terrains. C'est un élément probablement assez accessoire.

Le zinc existe dans quelques terrains. Toutes réserves doivent être faites quant à l'utilité du zinc chez les végétaux phanérogames, les seuls dont nous ayons à nous occuper.

Sols incomplets. — Suralimentation végétale. — Engrais. — Nécessité de l'enseignement agricole. — Lorsque les sols ne contiennent pas en quantité normale les différents aliments minéraux énumérés ci-dessus, il est souvent utile et même nécessaire de compenser cette insuffisance par l'apport de matériaux

destinés: les uns à être assimilés directement et isolément, les autres à entrer en combinaison avant de pouvoir être absorbés. On sait aussi que l'absorption des aliments par les plantes se gouverne plus commodément et n'est point enfermée dans des limites aussi étroites que chez l'organisme animal. En d'autres termes, l'on peut à volonté nourrir intensivement un végétal plus facilement qu'un animal.

Or, les circonstances économiques actuelles, dit Müntz dans la préface de son excellent traité des *Engrais*, obligent l'agriculture indigène à accoître ses rendements au moyen des engrais chimiques ou organiques, à suralimenter par conséquent les plantes cultivées. L'aliment surajouté, apporté artificiellement dans le sol, l'engrais en un mot, est même le principal facteur de la production agricole. Grâce à lui, la richesse s'établit là où régnait la misère. En engraissant la plante, on engraisse aussi le sol en lui restituant les matières absorbées par les récoltes antérieures. La *loi de restitution*, sur laquelle repose l'emploi des engrais, sert de base à l'agriculture moderne, et n'a été bien formulée que depuis le milieu du XIX^{e} siècle. Aujourd'hui, toute agriculture, ajoute Müntz, qui reste réfractaire aux idées nouvelles est destinée à péricliter, car l'ignorance des principes scientifiques conduit aux plus fâcheux résultats. Pour appliquer utilement les nouvelles conquêtes de l'esprit humain, il est nécessaire de posséder la connaissance des conditions multiples qui influent sur le végétal. Il est donc indispensable à ceux qui veulent améliorer la pratique séculaire de leur exploitation, d'acquérir certaines connaissances scientifiques fondamentales.

Par conséquent, et quoi qu'on en dise, en agriculture, la théorie prime la pratique pour la diriger et la perfectionner. Tout cultivateur moderne doit être agronome instruit, c'est-à-dire avoir des notions étendues de *chimie*, de *botanique*, de *géologie* et de *zoologie*. C'est la raison d'être de l'*enseignement supérieur de l'agriculture*.

Principaux engrais minéraux. — Les aliments, ou engrais, surajoutés au sol selon ses besoins sont : *azotés* (fumiers, poudrettes, purins, matières organiques, nitrates de potasse et de soude, sulfate d'ammoniaque, etc); *phosphatés* (poudre d'os, noir animal des raffineries, guanos phosphatés, phosphates métallurgiques (1), phosphates calciques minéraux tels que phosphori-

(1) Concentration, dans les scories, du phosphore qui existe dans presque tous les minerais de fer.

tes, apatites, coprolithes, etc.) ; *potassiques* (chlorure, sulfate, nitrate, carbonate de potasse, etc.) ; *calcaires* (sulfate, carbonate, phosphate de chaux) ; *magnésiens ; ferrugineux* (les engrais ferrugineux, sulfate, chlorure de fer, etc., deviennent de véritables remèdes fortifiants dans certains cas de chlorose), etc.

Amendements en général. — Certaines matières minérales, auxquelles il est d'usage de réserver le nom d'amendements, sont en outre ajoutées au sol non point uniquement pour alimenter les plantes, mais pour modifier et améliorer les qualités physiques du sol qui sont également importantes dans la santé et le développement des végétaux.

Matières minérales nuisibles. — Enfin, un certain nombre de composés minéraux absorbés par les plantes deviennent pour elles des poisons lorsque le sol en contient une certaine proportion; tels sont les sulfure et sulfate de fer, les sels de manganèse, le sel marin, les sels de baryte, de cuivre, de zinc, etc., et, pour certaines plantes, le *carbonate de chaux*.

Conclusions des considérations générales sur les aliments minéraux. — Les considérations générales que nous venons de présenter ne sont point complètement étrangères à notre sujet, car elles nous portent à prévoir l'influence capitale de la composition chimique du sol sur les végétaux.

Les aliments minéraux sont, de plus, nécessaires à tous les végétaux, même aux saprophytes et aux parasites, ainsi que l'ont démontré les recherches de J. Raulin et ses successeurs sur les champignons, et des bactériologistes sur les microorganismes.

Nous reparlerons plus loin des travaux de E. Laurent sur les rapports de l'alimentation des plantes avec leur résistance aux parasites et aux maladies.

III. — ABSORPTION, UTILISATION ET DÉPÔT DES MATIÈRES MINÉRALES

Il nous suffira maintenant de rappeler brièvement les notions acquises à ce jour sur l'absorption et le choix des sels minéraux par les racines, sur l'ascension et l'état de ces sels dans les plantes, et enfin sur les conséquences à tirer de l'étude des cendres au point de vue de notre thèse.

Nous avons donné, au début de ce chapitre, l'opinion de plusieurs éminents chimistes et physiologistes relative à l'imperfection de nos connaissances sur les réactions qui marquent le passage des matières minérales du sol dans les végétaux.

Ajoutons que l'étude anatomique des racines ne nous apprend rien sur les variations d'intensité et les procédés de l'absorption élective des substances minérales.

Historique de l'absorption et du choix des sels par les racines. — Duhamel, Sénebier et Corradori ont prouvé, depuis plus d'un siècle, que les racines n'absorbent que par leurs extrémités capillaires ou plus exactement par leur région pilifère voisine du sommet végétatif. Tous les physiologistes qui leur ont succédé n'ont pu que confirmer et préciser ces observations anciennes. Toutefois, Th. de Saussure (Rech. chim. sur la végét., p. 283) est le premier naturaliste qui ait constaté non seulement la nécessité des substances minérales (on croyait avant lui que l'eau seule était nécessaire à l'accroissement des plantes), mais encore le *choix* des principes minéraux par les racines. De Saussure est arrivé aux conclusions suivantes :

1° Les plantes prennent toujours plus d'eau que de sels.

2° Les quantités de sels prises sont variables selon les plantes.

3° L'endosmose de l'eau est indépendante de l'endosmose des sels.

La question de l'absorption des sels minéraux au niveau des poils absorbants se complique de la solubilité différente des sels et de l'excrétion variable des racines. Dans un travail assez récent (*Annales agronomiques*, t. IX, p. 58), Dehérain et Bréal ont démontré :

1° Que pendant la première partie de leur développement, les jeunes plantules absorbent activement et en quantité considérable les matières minérales ; 2° qu'elles absorbent même en quantité notable des substances qui ne paraissent avoir aucune influence avantageuse sur leur développement.

Excrétion et sécrétion des racines. — L'absorption est favorisée par les excrétions des racines. Ce mot d'*excrétion* prête à l'équivoque et demande à être défini. Il peut désigner à la fois, chez les racines, une exosmose de matières *utiles à l'absorption* des particules ambiantes (c'est alors une *sécrétion*), ou bien une exosmose de matières *inutiles* et rejetées purement et simplement au dehors (c'est alors une *excrétion vraie*).

Les racines ne sont pas des organes d'excrétion. — L'exosmose ou l'excrétion de matières inutiles a été admise par De Candolle, entre autres, et rejetée au contraire par Walter, Dehérain, etc., qui ont conclu de leurs recherches que les principes non utilisés dans la plante ne sont pas éliminés par excrétion radiculaire. Cette dernière opinion semble être adoptée aujourd'hui. Murray, Hales, John Mirbel, Brugmans, Macaire, Unger, etc., etc., se sont occupés aussi de cette question, mais seulement au point de vue de la nutrition végétale, sans distinguer la sécrétion de l'excrétion.

Les racines sécrètent des acides. — Quant à l'exosmose superficielle de matières utiles à l'absorption, elle a fait l'objet de nombreuses études. Il est hors de doute que les racines sécrètent notamment des sucs acides qui se répandent alentour. A ce sujet, il est superflu de rappeler l'expérience classique de Sachs, reproduite dans tous les cours, montrant les sillons creusés par les racines sur des plaques de marbre, de dolomite, de magnésite, d'apatite, etc.

Selon B. Dyer, Paturel, etc., les racines sécrètent un suc renfermant 1 o/o d'acide citrique.

Absorption des bicarbonates. — Les recherches de D. Cauvet (1861, et 1880: *Bull. Soc. bot. de France*), Barthélemy (*Revue des Sc. nat.* Montpellier, t. V, 1876), etc., ont démontré que les racines exhalent constamment de l'acide carbonique, que cette exhalation est plus faible la nuit que le jour, et que cet acide, entre autres, intervient activement dans l'absorption des carbonates insolubles qu'il transforme en bicarbonates.

D'autres acides, différemment sécrétés selon les plantes, attaquent les matières minérales du sol, soit pour les rendre absorbables, soit pour frayer aux radicelles un chemin même dans les sols les plus compacts. Les recherches de H. Molisch (1) ont étendu considérablement le pouvoir chimique des racines, puisque non seulement les principes minéraux, mais même les matières organiques sont attaquées par elles, et très énergiquement,

(1) H. Molisch. *Sur l'excrétion des racines (Ueber Wurzelausseheindungen, K. K. Zool. botan. Gesellsch. in Wienn,* 1887). — C. R. *in Ann. agronom.*, XIV, p. 334.

puisqu'il s'agit d'une transformation chimique profonde. Les conclusions remarquables de Molisch méritent d'être rappelées. Les voici :

1° Le produit sécrété par les racines est réducteur et oxydant.

2° Il bleuit la teinture de gayac, oxyde le tanin et les matières humiques, et favorise conséquemment la décomposition de l'humus.

3° Il transforme le sucre de canne en sucre réducteur et agit faiblement à la manière d'une diastase (cette action diastasique est encore incertaine).

4° Les racines corrodent une plaque d'ivoire.

5° Elles se comportent fréquemment comme des champignons, en modifiant la substance organique du sol par des sécrétions et en la décomposant.

6° La substance sécrétée n'imbibe pas simplement les membranes cellulaires sans s'écouler au dehors ; elle se dilue réellement alentour, et l'on a même pu voir perler des gouttelettes à la surface des racines.

Les recherches plus récentes de Bernard Dyer et de L. Grandeau (1) ont levé les derniers doutes. Grandeau a notamment expliqué l'absorption de la potasse, des phosphates, etc., par les radicelles, qui vont par leur suc acide à la recherche de ces minéraux, et ne sont point baignées par une solution comme le voulait l'ancienne hypothèse de la nutrition des plantes par endosmose simple.

A propos du mot « soluble ». — Ces conclusions nous amènent tout naturellement à préciser à nouveau le mot *soluble* et à traiter de la faculté élective des racines pour les matières minérales.

Les adversaires de l'influence chimique du sol ont objecté que le calcaire n'est point soluble et qu'il ne saurait donc y avoir des plantes pour lesquelles il est toxique. Les auteurs cités ci-dessus, le Dr Saint-Lager et d'autres, se sont élevés, avec raison, contre cette assertion et ont démontré :

1° Que certains sels ou engrais insolubles dans l'eau peuvent

(1) *De l'acidité du suc des racines des végétaux*, expériences et recherches de Bernard Dyer sur la fertilité des terres ; *in* Journal d'agriculture pratique, 1895, t. I.

néanmoins, mis au contact ou seulement à proximité des racines, être absorbés par les plantes.

2° Que le mot « soluble » s'applique en physiologie végétale non seulement aux corps solubles dans l'eau, mais à toute matière attaquable et absorbable par les racines au moyen de leurs sucs acides.

Faculté élective des racines. — Quant à la faculté que possèdent les racines de choisir en quelque sorte leurs aliments, elle est indéniable, quoique très relative. Mise en relief d'abord par De Saussure, cette faculté élective a été longtemps discutée. Avec Pellet (*Annales agronomiques*, t. V, p. 19), on peut ramener à trois les opinions émises :

1° Les cendres d'un même végétal varieraient surtout suivant le sol, et il n'y aurait rien de régulier dans la composition des matières salines laissées par l'incinération de la plante.

2° D'autres, au contraire, pensent que chaque végétal soutire au sol un ensemble de matières minérales propres à sa constitution spéciale, mais sans se rendre compte entièrement, cependant, de certains faits anormaux qu'on rencontre dans l'analyse des cendres d'un végétal donné cultivé sur des sols diversement fumés.

3° D'autres enfin admettent que la plante fait un certain choix parmi les matières solubles qu'elle rencontre dans le sol, mais contestent l'influence heureuse de tel ou tel élément trouvé par l'analyse dans les cendres.

Des faits parfaitement exacts ont été apportés à l'appui de ces diverses opinions. Les expériences anciennes de Daubeny, Martins, etc., ont montré que la plante choisit, jusqu'à un certain point, les substances avec lesquelles elle se trouve en contact.

En s'appuyant sur ses devanciers et notamment sur les travaux de Th. Graham sur la diffusion (1864), Dehérain a conclu (1867) qu'on peut attribuer à la diffusion, à l'évaporation et à la combinaison chimique le choix exécuté par les plantes au milieu des substances minérales variées que leur offre le sol dans lequel elles enfoncent leurs racines.

C'est surtout l'analyse des cendres végétales qui démontre ce choix relatif des racines.

Ainsi que l'a fait remarquer Contejean, les Graminées de la tourbe et du calcaire sont aussi riches en silice que celles des gneiss. Presque tous les végétaux terrestres n'absorbent que la potasse et délaissent la soude, malgré sa solubilité à l'état de sel

marin notamment. Les recherches de Eug. Péligot (1860, etc.) ont, en effet, montré, contrairement à l'opinion de savants et agronomes, que la plupart des végétaux cultivés (notamment la Pomme de terre qui ne présente pas trace de produits sodiques, même dans les terrains salés des bords de la mer) délaissent les sels de soude, tandis qu'ils recherchent l'*alcali végétal*, la *potasse*, qu'ils y rencontrent sous diverses formes.

Les plantes aquatiques ou hygrophiles choisissent, les unes le calcaire (Charas ; certains Lichens ; Algues marines : Acétabulaires, Corallines, Desmidiacées, etc. ; Algues d'eau douce, certaines Desmidées ; *Ainactis calcarea*, *Euactis calcivora* , etc.), les autres la silice (Prêles, Diatomacées, etc.).

« Quel spectacle singulier et fécond en enseignements, s'écrie à ce propos le Dr Saint-Lager, que de voir les Desmidées et les Diatomées qui, vivant dans les mêmes eaux, choisissent exclusivement et sans jamais se tromper, les unes le calcaire, les autres la silice ! Qui pourrait se refuser à voir là un appétit tout à fait semblable à celui des animaux ? »

« On sait, disent encore Berthelot et André, avec quelle énergie, on pourrait dire avec quel instinct admirable, les plantes arrivent à tirer du sol les moindres traces de phosphore, de soufre, de potasse, de fer, nécessaires à leur alimentation. Elles extraient du sol, le plus souvent en absorbant pour leur propre compte, sous forme de composés organiques particuliers (acides silico-organiques), des doses d'acide silicique bien plus considérables que la dose de cet acide qui serait soluble directement dans les acides minéraux purs ; aussi, le dosage exact des alcalis dans les plantes, ainsi que dans le terreau qui en dérive, ne saurait-il être effectué, pour la plupart des cas, sans le concours de l'acide fluorhydrique et des fluorures ».

Cette élection et cet appétit de la plante pour un principe chimique déterminé, pour une *dominante*, sont surtout bien démontrés pour les plantes cultivées, depuis les recherches de Georges Ville et autres agronomes.

La faculté élective est limitée. – Les racines ne peuvent s'empêcher d'absorber le calcaire, comme le prouve l'analyse des sèves et des sucs cellulaires. — L'étude de l'influence chimique du sol nous apprendra que les plantes spontanées ont aussi des dominantes, variables selon le genre et l'espèce (exigences spécifiques, et même individuelles !). Toutefois, nous le répétons, et malgré ces faits si démonstratifs, la faculté d'élection des raci-

nes est très limitée. S'il n'en était ainsi, nous n'aurions pas à discuter l'influence chimique du sol sur les plantes, puisque cette influence serait nulle par suite du pouvoir de délaisser tout principe minéral nuisible ou en excès.

De nombreuses recherches ont d'ailleurs démontré, pour le calcaire en particulier, que les plantes ne peuvent s'empêcher d'absorber ce sel et d'en subir les conséquences. MALAGUTI et DUROCHER ont irréfutablement prouvé, dès 1858, que la sève qui circule dans les plantes est beaucoup plus chargée de carbonate de chaux lorsqu'elle a été fournie par un terrain calcaire.

Les analyses du suc cellulaire de diverses plantes, et notamment de la Vigne, ont unanimement démontré que l'acidité varie selon les matières minérales absorbées, et que le suc cellulaire des Vignes chlorosées en terrain calcaire diminue d'acidité jusqu'à devenir nettement alcalin (B. PONS, A. BERNARD, etc).

Les phosphates, au contraire, augmentent l'acidité des sucs cellulaires des plantes, d'après les recherches récentes de E. LAURENT (1898).

L'étude chimique de la sève permet d'y constater la présence des matières salines absorbées. LANGLOIS (Vigne), BOUSSINGAULT (Noyer, Hêtre, Charme, Orme, Bananier, Bambou, etc.), LIEBIG et WILL (Érable, Bouleau), AVEQUIN (Canne à sucre), etc., ont étudié les sèves à ce point de vue. (Nous venons de citer les observations de Malaguti et Durocher).

Conclusions générales sur l'absorption des matières salines.— Tous ces faits nous amènent à poser comme parfaitement démontrées les conclusions suivantes : Les plantes peuvent choisir leurs aliments dans le sol, mais dans une faible limite, et cette faculté d'élection n'existe pas à l'égard de tous les sels minéraux.

L'absorption des matières salines (1) au niveau de la surface des poils absorbants est donc un phénomène extrêmement complexe que nous ne connaissons encore qu'imparfaitement, car les végétaux exercent, sur la terre et sur l'extraction des alcalis et autres substances qui y sont contenues, des réactions chimiques propres, tout à fait distinctes, disent BERTHELOT et ANDRÉ, des

(1) Voir aussi : J. VESQUE. *Absorption des matières salines par les racines.* (*Ann. Sc. nat.*, 1878).

actions lentes des agents atmosphériques et plus encore des actions rapides des sels minéraux.

Assimilation des matières minérales absorbées.— Que deviennent maintenant les matières absorbées par les racines?

Schimper (*Annales agronomiques*, t. XVII, p. 377) vient nous répondre : Le plus souvent, d'après ses conclusions, les sels du sol absorbés par la plante ne parviennent pas directement aux endroits où ils doivent être utilisés, mais sont d'abord emmagasinés pour un temps plus ou moins long, surtout dans les souches, et aussi dans tout le bois des parties aériennes du végétal. Les graines renferment les sels, surtout les phosphates, sous forme de combinaisons organiques qui se dédoublent pendant la germination. Le parenchyme cortical et la moelle des tiges et des racines, ainsi que le parenchyme des nervures des feuilles, les conduisent ensuite jusqu'aux foyers de formation des matières organiques : points végétatifs et parenchyme assimilateur des feuilles, zones d'accroissement secondaire, grains de pollen, ovules, cellules grillagées, laticifères et cellules sécrétrices.

D'ailleurs, la faculté des plantes d'assimiler les matières minérales est qualitativement et quantitativement très variable. Nous étudierons séparément, plus tard, le mode d'absorption et l'action spéciale des sels de chaux. Pour le moment, l'examen des cristaux, concrétions et dépôts, et l'analyse des cendres végétales, vont nous permettre de juger à quel état les principes minéraux absorbés se présentent ensuite dans les plantes.

Composition chimique et état des matières minérales dans les plantes. Historique. — Les travaux sur les matières minérales contenues dans les plantes sont innombrables ; presque tous les chimistes se sont occupés de l'analyse des cendres, et il est peu de physiologistes qui n'aient recherché sous le microscope les cristaux et les incrustations des tissus. Signalons seulement parmi les principaux auteurs qui, depuis 1800, ont étudié la nature et la proportion des matières minérales contenues dans les plantes : Théodore de Saussure, Leutchenweiss, Rammelsberg, Fresenius, Will, Plichon, Payen, Kirwan, Buckert, Pertuis, Boussingault, Berthier, Langlois, Liebig, Erdmann, Letellier, Leutchwein, Petzhold, Corenwinder, Malaguti et Durocher, Mayer, Way, Ogston, Péligot, Clifton, Sorby,

Garreau, Röthe, Kœchlin, Henhonze, Fleitmann, Kane, Henry, Fliche et Grandeau, Joulie, Violette et Archambault, etc., etc. (1).

Th. de Saussure, le premier, constata expérimentalement que :

1° La proportion des cendres contenues dans un même poids d'un végétal à l'état sec augmente avec la richesse d'un terrain en matières salines.

2° Elle croît dans un même organe jusqu'au moment où la sève cesse d'y circuler.

3° Elle est plus forte dans les organes ou les végétaux herbacés que dans les parties ligneuses (cette conclusion est discutable).

Berthier (1826) a établi les deux principes suivants :

1° Les cendres des bois de même espèce sont chimiquement semblables dans des terrains identiques.

2° Les cendres de diverses espèces de bois, dans ces mêmes conditions, diffèrent.

Enumération générale des minéraux des cendres végétales. — Les travaux des auteurs cités plus haut ont démontré la présence, dans les cendres végétales, sous forme d'acides ordinairement unis aux bases alcalines, de tous les métalloïdes, excepté peut-être le bore, le sélénium, le tellure et l'arsenic.

Parmi les métaux les cendres contiennent les suivants :

K, Na, Li, Ru, Ca, Mg, Ba, St, Mn, Fe, Al, Zn, Cu, Pb, Ni, Co, etc. Les métaux se présentent toujours à l'état d'oxydes ou de sels divers. La lithine existe dans beaucoup de bois, dans les cendres des Céréales, dans les feuilles de Vigne d'après Bunsen, etc. L'oxyde de rubidium existe dans les cendres d'un grand nom-

---

(1) Knop. Inventaire des travaux sur les analyses des cendres végétales, jusqu'en 1845-46, *in : Journal für praktische Chemie*, t.XXXVIII.

Travaux de Pellet (*Ann. agronom.*, t. V.) ; de F. Meunier, sur les cendres de blé (*Ann. agron.*, t. VI) ; de A. Pétermann, sur les cendres de la Bruyère, de la Fougère et du Genêt (*Ann. agron.*, t. IX) ; de Malaguti et Durocher (*Ann. Sc. nat.*, 1858) ; de L. Garreau (*Ann. Sc. nat.*, 1860).

Dr E. Ebermayer. *Die Gesammte Lehre der Waldstreu* (Berlin 1876 ; analysé *in : J. d'agric.*, 1875 et 1876).

P. Fliche et Grandeau. *Composition des feuilles selon l'âge et l'espèce* (*Ann. de ch. et de phys.*, 1876 et 1877). Etc., etc.

bre de variétés de Tabac, dans le Café, la Betterave etc. La présence de l'alumine dans les cendres serait douteuse selon DEHÉRAIN, et toujours absente selon BERTHIER. Pourtant BERZÉLIUS l'a observée dans le *Lycopodium complanatum* et VAUQUELIN dans le Bouleau. L'oxyde de fer donne aux cendres une teinte rougeâtre, et l'oxyde de manganèse une teinte verdâtre qu'il faut attribuer à la formation de petites quantités de manganate de potasse ou caméléon minéral. D'après le Dr ZŒLLER et d'autres (1) savants, le fer et le manganèse paraissent abonder surtout dans les plantes aquatiques (*Nymphœa*, *Nuphar*, *Nelumbium*, *Victoria regia*, etc.). Le zinc existerait (?) dans quelques espèces. Ainsi la *Viola calaminaria* serait, selon ALEX. BRAUN, si caractéristique pour les gisements de zinc des environs d'Aix-la-Chapelle que ses stations ont servi de guide dans la recherche des mines. Le cuivre a été trouvé dans plusieurs espèces (Pin, Hêtre, Mûrier, Chêne etc.), d'après DE LUCA et GRANDEAU.

Les plantes marines sont riches en sulfate et chlorure de sodium et en iodure de potassium (*Fucus vesiculosus*, etc.) Les *Fucus* contiennent en outre un peu de bore, nickel, cobalt, baryum, strontium.

La chaux abonde dans les plantes, notamment dans le bois du Chêne (50,6 o/o) selon DENINGER, du Sapin (49,5 o/o) selon KŒCHLIN, la tige de la Vigne (30,3 o/o) selon HOUZEAU et KRUSCHAUER, le Pavot (28,1 o/o), le Chenevis et Lin (26 o/o) selon LEUCHTWEISS, le Trèfle et le Sainfoin (24 o/o) selon BUCHMEISTER et BOUSSINGAULT, etc.

La potasse existe, comme la chaux, à l'état d'oxalate (*Oxalis*, etc.), de tartrate (Raisin, etc.), de citrate (Citron, Pomme de terre), de tartrate et oxalate (Betterave, etc.), de phosphate, etc. En outre, la potasse ferait partie intégrante de la matière albuminoïde ?

L'acide silicique (silice) existe dans un grand nombre de plantes, mais en quantité très variable : 45 à 48 o/o chez les Ericinées, 40 à 50 chez les Graminées et les Fougères ; moins de 10 chez les Caryophyllacées, Dipsacées, et fort peu chez les Polygonées ; 6 à 12 dans les Conifères, le Buis, la Vigne ; 0,30 à 3,70 dans le Chêne, le Saule, le Peuplier et les Amentacées en général.

---

(1) P. PICHARD. *Contribution à la recherche du manganèse dans les végétaux*, etc. (C. R. Ac. Sc., 1898).

Les chlorures abondent dans certaines plantes halophiles : 75 o/o chez *Crambe maritima*, 32 o/o chez *Glaucium flavum*, etc.

Localisation des principaux minéraux dans les organes divers. — Si maintenant nous considérons la richesse comparative en cendres des divers organes des plantes ou de plantes à divers âges, pris séparément, nous arrivons aux conclusions suivantes:

Selon GUEYMARD (C. R. Ac. Sc., t. LVI), les arbres et les céréales montrent un rapport inverse de la chaux à la silice.

Les végétaux herbacés laissent une quantité de cendres d'autant plus considérable qu'ils sont moins âgés.

L'acide phosphorique (phosphates) est surtout concentré dans les arbres et dans les graines. D'ailleurs, le phosphore et le magnésium s'accumulent toujours dans les organes où l'activité vitale prédomine (graines surtout) ; les matières minérales insolubles s'accumulent surtout dans les feuilles et les inflorescences. Les grains de Froment, Orge, Millet, la Pomme de terre, etc., contiennent fort peu de chaux (moins de 2 o/o). Le lithium serait concentré dans les feuilles de Vigne, de Tabac selon BUNSEN, dans les raisins et dans le bois de beaucoup d'arbres. Les vieilles feuilles selon le Dr ZŒLLER, et les écorces des arbres selon DE SAUSSURE, ne renferment plus guère que de la silice et du carbonate de chaux (on sait que les feuilles et l'écorce sont deux appareils d'évaporation).

Les grains de froment et de seigle contiennent du cuivre, d'après MEYER. Les plantes herbacées annuelles sont riches en silice. Les Rosacées frutescentes sont très riches en acide phosphorique, en magnésie et en potasse, moins riches en chaux. La Vigne est riche en acide phosphorique et en potasse. Les Amentacées contiennent deux à trois fois plus d'acide phosphorique que les arbres à fruits. Par contre, les Conifères sont plus riches en chlore, en alcalis et en silice que les Amentacées. Les Crucifères sont très riches en chlore. La consistance des Bruyères, Graminées, Cypéracées, Fougères, Équisétacées, paraît liée à l'abondance de silice qui contraste avec la pauvreté en chaux. Selon HENRY, le Hêtre et le Tremble sont assez riches en potasse; le Charme en contient peu au contraire. Le Chêne est, de tous les arbres, celui qui contient le plus d'acide phosphorique et de potasse. Cette essence, en effet, prospère surtout dans les sols riches en potasse.

Les cendres varient en quantité et qualité selon le terrain. — Nous devons insister particulièrement sur les résultats des travaux de MALAGUTI et DUROCHER (1868), et de FLICHE et GRANDEAU (1873-1878).

Les deux premiers auteurs ont établi les résultats suivants :

1° La quantité de chaux absorbée par des plantes en sol siliceux peut s'élever à plus de 30 o/o des cendres chez les Polygonées, 60 o/o chez le *Sedum reflexum*, 50 o/o environ chez la plupart des arbres.

2° Les plantes sont, à peu d'exceptions près (Scabieuse des champs, etc.), plus riches en acides phosphorique et sulfurique en terrains siliceux et argileux qu'en terrains calcaires.

3° La soude présente une grande inégalité de répartition, même dans une famille donnée.

4° Les plantes renferment moins de silice en sols calcaires qu'en sols siliceux.

5° Les plantes de même espèce ou de même genre ont beaucoup plus de potasse en sols siliceux qu'en sols calcaires, dans lesquels la potasse se trouve en effet remplacée par de la chaux.

6° Les plantes calcicoles renferment une quantité de chaux plus grande du tiers au double que celles des terrains siliceux (c'est l'inverse de la potasse).

En définitive, nous pouvons représenter par le tableau comparatif suivant les conclusions sus-énoncées :

Les plantes renferment surtout :

En sols siliceux ou argileux	*En sols calcaires*
—	—
Acide sulfurique.	Acides organiques.
Acide phosphorique.	Soude (un peu plus qu'en sols siliceux).
Acide silicique.	Chaux : prédomine beaucoup (toujours 1/3, quelquefois 1/2 du poids total de la cendre chez les plantes herbacées ; plus des 2/3 chez les arbres si l'on fait abstraction du CO^2).
Potasse.	
Magnésie.	
Oxydes de fer et de manganèse.	

FLICHE et GRANDEAU ont constaté aussi que la quantité de chaux des cendres est plus forte, chez une plante donnée, en sols calcaires qu'en sols siliceux (56 contre 40 o/o pour le Pin maritime;

74 contre 45 o/o pour le Châtaignier), et que la potasse varie en raison inverse.

Cristaux et concrétions dans les plantes. — Historique. — Les matières minérales dont nous venons d'étudier la nature et la distribution dans les plantes peuvent, lorsqu'elles sont en excès ou sous un état insoluble, se déposer visiblement dans les tissus sous forme de cristaux, concrétions, dépôts divers. La connaissance des petits cristaux inclus dans les plantes est très ancienne. MALPIGHI en 1687, LEUWENHOECK vers 1720, RAFN en 1798, JURINE vers 1802, LINK et RUDOLPHI en 1807, KIESER en 1814, connaissaient déjà les cristaux, aiguilles et agglomérations cristallines endophytes.

En 1826, ALPHONSE DE CANDOLLE donne aux cristaux aciculaires le nom de *raphides*, qui ne préjuge rien. Depuis, un très grand nombre d'auteurs ont étudié les inclusions cristallines cellulaires. BAILEY (*American Journal of Science and Arts*, 1845, vol. XLVII, p. 17) et SANIO (*Monatsb. der k. Akad. d. Wissenschaften*, Berlin, 1857) ont donné l'historique et la description complète des cristaux des Dicotylédones.

La question du mode de formation des cristaux a été très discutée. J. VESQUE a conclu de ses recherches qu'il est infiniment probable que le sel cristallise dans la cellule absolument comme il cristalliserait en vase inerte dans les mêmes conditions physiques et chimiques.

Rappelons brièvement les principaux faits relatifs aux cristaux et concrétions intracellulaires.

Cristaux calciques. — Carbonate de chaux. — Bien que la présence de la chaux et du calcaire dans les plantes ait été niée par FOUCROY et VAUQUELIN (*Ann. du Mus. d'hist. nat.*, t. XIII), la chaux existe visiblement sous forme de carbonate, sulfate, oxalate, etc.

Le carbonate de chaux existe dans les Charas et autres plantes aquatiques à l'état d'incrustations amorphes, et dans un grand nombre de plantes sous forme de *cystolithes*.

Les cystolithes, découverts en 1827 par MEYEN dans les feuilles de *Ficus*, ont été étudiés depuis par PAYEN (1849), SCHLEIDEN (vers 1850), GOTTSCHE et SCHACHT (1854), WEDDELL (1857) qui leur donna le nom de cystolithes, puis par KNY, SACHS, K. RICHTER (1877), etc., et enfin par J. CHAREYRE (1884). Ce dernier au-

teur a constaté expérimentalement que, sur la silice pure, les plantes n'ont que des cystolithes rudimentaires et peu nombreux.

Les cystolithes sont globuleux chez les Urticacées (feuilles et fruits de *Celtis*, feuilles de *Conocephalus*, *Parietaria*, Mûrier, Orties, Houblon, Chanvre, etc.) et linéaires chez les Acanthacées.

Outre cette forme particulière, le CO^3Ca existe encore à l'état de dépôts amorphes et granuleux dans la cuticule d'après Frémy (*Ann. Sc. nat Bot.*, 1882), dans les troncs d'arbres, chez les *Sempervivum*, etc., où il est simplement déposé par évaporation. On le trouve sous forme de concrétions dans les poils calcaires des Borraginées, Crucifères, Composées, Verbénacées, Cucurbitacées, etc., dans les cellules épidermiques du bord de la feuille des Saxifragacées (les concrétions des dentelures des feuilles du *Saxifraga aizoon* sont aussi développées sur les rochers granitiques du Saint-Gothard que sur les calcaires coralliens du Jura), dans les Plombaginées (Statices), Globulariées, Fougères, etc., dans les feuilles (d'après Payen) de *Mesembrianthemum*, *Maclura*, *Juglans regia*, *Solanum tuberosum*, *Polygonum fagopyrum*.

Ces observations anciennes de Payen sont importantes ; elles montrent que, si les carbonates qu'on rencontre en abondance dans les cendres peuvent provenir de la décomposition ignée des sels à acides organiques, ils existent souvent aussi tout formés dans les végétaux (1).

Globoïdes. — La chaux est visible dans les graines de beaucoup de plantes (Ricin, etc.) sous forme de globoïdes, qui sont des glycérophosphates et saccharophosphates de chaux. Les globoïdes disparaissent plus rapidement lorsque la graine germe sur un sol formé de silice pure que sur un sol calcaire ou sur la terre ordinaire (Chareyre).

Pectate, sulfate, malate, tartrate de chaux. — La chaux se voit encore sous forme de granulations de pectate de chaux dans la cuticule (selon Frémy, etc); de sulfate de chaux ou plâtre (cristaux de gypse des Desmidiées, observés par A. Fischer en 1883 ; chez le *Lupinus luteus*, etc.) ; de malate et malophosphate de calcium, dans quelques végétaux (Euphorbiacées, Filicinées,

(1) Voyez aussi : Berthelot et André. *Sur les Carbonates contenus dans les plantes vivantes* (*C. R. A. Sc.*, t. CI ; *Ann. agron.*, t. XI).

Solanacées), d'après les recherches de MIRANDE (*Journ. de Bot.*, 1898); de tartrate de chaux (dans les Crassulacées notamment), enfin et surtout sous forme d'oxalate de calcium.

Oxalate de chaux. — TURPIN (*Mémoire sur les Béforines*, 1836), SCHLEIDER (*Mém. sur l'Anatomie des Cactées*, 1839), PAYEN, J. VESQUE (*Obs. sur les crist. d'oxal. de chaux contenus dans les plantes, Ann. Sc. nat. Bot.*, 1874), ont, en effet, observé que la chaux est le plus souvent combinée aux acides végétaux, et surtout à l'acide oxalique. L'oxalate de chaux est très abondant dans l'écorce des arbres et arbustes des climats tempérés, sous forme de granules amorphes ou même de cristaux, notamment dans le Saule, le Peuplier, le Hêtre, le Platane, les Malvacées, etc. Il existe aussi dans les feuilles de *Rumex*, *Oxalis*, *Begonia*, *Cactus* (PAYEN a trouvé 70 o/o d'oxalate de chaux dans un Cactus desséché !), *Citrus*, *Limonia*, *Juglans regia*, *Juglans nigra*, *J. cinerea* (selon DEHÉRAIN), *Dracœna*, *Sempervivum*, dans les Gymnospermes (*Taxus*, Cupressées, etc.), Mésembrianthémées, etc., dans les Graminées, dans la moelle (raphides des Onagrariées, des Ampélidées: la Vigne contient de grandes cellules à raphides au milieu des rayons médullaires et des prismes simples dans les rangées cellulaires voisines du liber; Malvacées, *Ricinus*, etc.), dans la tige des *Taxus*, dans le liber des Malvacées, *Nerium*, Asclépiadées, *Ulmus*, etc., etc.

Certains de ces cristaux ont des formes absolument caractéristiques selon les plantes qui les renferment.

Si l'on cultive des plantes dans une solution privée de calcaire, il ne se forme pas d'oxalate de chaux. D'autre part, à la lumière, le nombre des cristaux d'oxalate formés augmente, d'après MONTEVERDE (*Ann. agron.*, t. XVII, p. 92), avec l'abondance des sels calcaires (nitrate de chaux dans les expériences de Monteverde) du substratum, jusqu'à un certain maximum.

Dépôts de silice. — La silice (qui existerait à l'état invisible en combinaison à la cellulose chez les Céréales, Fougères, etc.) se montre aussi dans les plantes à l'état libre, déposée par évaporation.

D'après ZŒLLER, les vieilles feuilles, au moment de leur chute automnale, seraient très riches en silice.

Tandis que les pailles de Blé et autres céréales contiennent jusqu'à 65 et 70 o/o de silice, et 90 o/o dans l'épiderme du Jonc des Indes d'après HUMPHRY DAVY, les Légumineuses en sont très pauvres au contraire.

Outre les Graminées, les plantes les plus riches en silice granuleuse ou amorphe sont les *Equisetum*, *Calamus*, Bambou, les Fougères, les Lichens silicicoles (60 o/o de silice, 3 o/o de chaux), les feuilles de Marronnier, Hêtre, Chêne, Figuier, les fruits du *Lithospermum arvense*, etc.

Il est même possible de faire des préparations du squelette siliceux de ces plantes que l'on pourrait appeler silicivores (Van Tieghem, *Botan.*, 1891, p. 567; H. De Mohl, *Ann. agron.*, t. III).

Cristaux divers : potasse, magnésie, soufre, etc. — La potasse n'existe pas à l'état visible chez les plantes, sauf peut-être en rares cristaux d'oxalate de potasse. La Digitale, qui renferme 12 à 15 o/o seulement de silice contre 40 à 50 o/o de potasse, est un des types des plantes kaliphiles ou kaliphages. La soude n'est pas visible non plus en cristaux ou concrétions. Le phosphore et la magnésie qui forment, avec l'azote, la presque totalité de la matière minérale des graines sont, très rarement, visibles à l'état de phosphate ammoniaco-magnésien. L'oxalate de magnésie forme des agrégats irréguliers ou des sphéro-cristaux dans l'épiderme des feuilles de Panicées, etc.

Le soufre se dépose à l'état de cristaux dans certaines Algues inférieures (Beggiatoacées, Sulfuraires, etc.) des eaux sulfureuses (1).

Signification des cristaux. — Parmi ces sels minéraux qui se déposent ainsi dans les plantes, les uns constituent des réserves, d'autres des dépôts inertes, d'autres enfin des produits de déchet, de désassimilation, des excrétions en un mot.

Nous donnerons, au chapitre de l'action physiologique des sels de chaux et des sels divers, le résumé de l'état actuel de nos connaissances sur ces phénomènes complexes de l'assimilation des matières minérales.

Conclusions. — La revue rapide que nous venons de passer des aliments minéraux, de leur absorption et de leur dépôt dans les plantes nous sera d'un grand secours dans la démonstration de l'influence chimique du sol. Mais, auparavant, nous devons encore rappeler les principales influences qui interviennent dans la dispersion géographique des végétaux.

---

(1) V. en outre, au sujet des matières minérales des plantes, le travail de Dassonville sur *l'action des sels minéraux sur les végétaux*, thèse de Paris, 1898.

IV.— INFLUENCE DES MILIEUX SUR LES VÉGÉTAUX.

Action des milieux. — Chaque espèce végétale rayonne autour de son *centre de création* (Dr Saint-Lager, etc.), de *dispersion* (Dr Magnin, etc ;) ou de *végétation* (Grisebach).

Les limites de l'aire de dispersion et les stations de l'espèce sont sous l'influence rigoureuse et complexe d'un ensemble d'agents extérieurs qui agissent même sur les espèces cosmopolites.

Ces agents sont impondérables (température-altitude-climat; chaleur; lumière; etc.) ou pondérables (eau; atmosphère; sol; êtres organisés : plantes voisines, lutte pour la vie, animaux, hommes, parasites, etc.).

Ces influences *extrinsèques* sont accentuées ou atténuées par des influences *intrinsèques*, variables selon chaque genre et même chaque espèce : les questions de tempérament, de résistance spécifique, d'hérédité, etc., interviennent, en effet, chez les plantes comme chez l'homme et les animaux, et quoique encore fort mal connues, elles n'en existent pas moins pour rendre l'étude des rapports des plantes avec le sol notamment plus complexe encore.

A.— INFLUENCES EXTRINSÈQUES

1° Influences climatologiques

Influence du climat.— Depuis les travaux de Humboldt, Martins, Grisebach,, etc., un grand nombre de phytostaticiens attribuent au climat une importance absolument prépondérante et absolue.

Le climat est complexe. — Personne, évidemment, ne songe à nier la dépendance des plantes envers le climat. Mais le mot *climat* est assez vague et désigne un ensemble complexe de phénomènes très divers ; ainsi que le démontrent les recher-

ches de Thurmann, Wolkens, Schube, Ross, Wagner, G. Bonnier, W. Russell, Ch. Flahault, Areschoug, F. Boergesen, Eug. Warming, Schimper, etc., il désigne à la fois l'altitude (climat alpin, climat de montagne, climat de plaine, etc.), la latitude (climat torride, tempéré, froid, boréal, etc.), l'exposition au vent et au soleil selon la topographie du lieu (climat sec, climat aéré, climat brûlé), la proximité ou l'éloignement de la mer (climat maritime ou climat continental), des fleuves et des lacs (climats humides, climats à brouillards, etc.), etc.

Nous devons donc essayer de préciser toutes les influences englobées sous le nom général de climat.

Altitude. — La *température* et la *pression*, la *pureté* et la *composition de l'air*, varient avec *l'altitude*.

Les changements d'altitude, et par conséquent de température et de pression, ont une action indéniable, considérable même, sur la distribution, sur la structure et la morphologie des plantes. Ainsi que l'ont montré notamment les belles recherches expérimentales de G. Bonnier, les espèces des plaines transportées sur les montagnes prennent une structure et un facies particuliers :

1° La plupart sont vivaces.

2° Leur taille est peu élevée, leur aspect nain, étalé et gazonnant.

3° Leurs racines sont hypertrophiées, ainsi que les rhizomes.

4° Leur floraison est plus précoce (rapidité d'évolution).

5° Leurs feuilles sont petites, épaisses, *plus vertes*, souvent persistantes, à bords révolutés.

6° Leur suc est plus concentré, leur structure coriace, succulente, avec glandes calcifères, indumentum et cuticule marqués.

7° Les fleurs sont relativement plus grandes, plus vivement colorées, tendant à prendre une teinte rouge ou rose (Schröter, Bonnier, A. Magnin, etc.).

Dans les Alpes notamment (V. *Végétation des Alpes*, par le Dr A. Magnin, *in*: *Les Alpes Françaises* de A. Falsan), les botanistes ont de tout temps distingué des *zones de végétation* ou *régions d'altitude* (Engler, Bonnier, Briquet, etc.) :

1° Région *inférieure* ou *région des cultures* (coteaux, basse montagne, vallées inférieures, plaines.)

2° Région *subalpine* ou *ceinture forestière*, à flore sylvatique.

3° Régions *alpine* ou des *hauts pâturages* et des sommets, à flore d'affinités arctiques.

Chaque plante a sa *limite altitudinale*, variable selon l'exposition et le sol.

Latitude. — La latitude a une influence universelle, mais non absolue, car il y a des plantes cosmopolites par acclimatation progressive. Le savant danois Areschoug a conclu de ses recherches que le « climat exerce une influence considérable non seulement sur la forme, mais aussi sur l'organisation interne des végétaux ». Tout récemment, Boergesen a remarqué chez les plantes arctiques la structure très lacuneuse du mésophylle et la présence de nombreux stomates indifféremment sur les deux faces et au niveau de la surface de la feuille.

L'*inégalité des jours et des nuits*, la *variabilité de l'état hygrométrique de l'air*, etc., sont également des facteurs dépendant surtout de la latitude et agissant sur les végétaux.

Exposition. — L'*exposition* est aussi un facteur climatologique important. Nul n'ignore l'influence de l'exposition et de l'altitude sur les Vignes au moment critique des gelées printanières. Certaines localités particulièrement exposées aux vents du nord ou du sud ont leurs plantes spéciales. Un grand nombre de Lichens, de Mousses, de Fougères, affectionnent l'exposition nord. C'est ainsi que dans nos régions, l'*Asplenium septentrionale* exige non seulement un substratum siliceux, mais aussi une certaine altitude et l'exposition nord. Les troncs d'arbres sont presque toujours plus garnis de Lichens sur leur face tournée au nord, à tel point que cette observation peut tenir lieu de boussole. Les stations exposées au nord ressentent d'ailleurs beaucoup moins les effets du soleil que celles tournées au midi.

Les stations exposées au midi permettent l'établissement de colonies de plantes thermophiles ou méridionales à des alti-

tudes assez élevées (V. A. Magnin, *Végétation des Alpes françaises*, etc). La question est donc complexe.

Proximité de la mer et des fleuves. — Les régions voisines de la mer reçoivent d'elle des vapeurs et des brises quotidiennes qui exercent leur influence jusqu'à une distance, variable, mais assez considérable. Le littoral immédiat a sa flore spéciale par suite de la présence du sel dans le sol, ou seulement des émanations salines qui se déposent, ainsi que l'a constaté Ad. Gubler, à la surface des plantes et du sol.

Le climat continental, au contraire, n'a en général que des vents secs et fort variables en direction et en intensité.

L'influence des lacs et des fleuves est également indéniable, Personne n'ignore l'influence des brouillards sur les êtres vivants dans les environs de Londres, de Lyon, dans la région néerlandaise, etc. (1). Mais nous devons reconnaître que l'expo sition, la proximité de la mer et des fleuves, l'altitude même, sont des influences toujours restreintes et variables. La latitude seule a une action générale, et c'est elle surtout que l'on a en vue en employant l'expression de climat.

Température moyenne. — La température moyenne d'une localité donnée dépend donc surtout de la latitude, et accessoirement de l'altitude, de l'exposition, etc. Les recherches récentes de G. Bonnier, Ed. Griffon, etc., ont montré que la température, dans de certaines limites, influe sur la formation de la chlorophylle, sur le développement du mésophylle et sur l'énergie assimilatrice.

Rappelons encore que la durée de la végétation et surtout la rapidité du cycle évolutif d'une espèce diminuent proportionnellement en raison directe de l'altitude et de la latitude, parce que les beaux jours sont moins nombreux et moins chauds et que la plante est conséquemment obligée, en un laps de temps moins long, de germer, pousser, fleurir et fructifier.

---

(1) V. Ch. Joly. *De l'influence du brouillard sur la végétation* (*in*: *Journ. de la Soc. nation. d'Horticulture*, 1891).

Lumière. — L'action de la *lumière* est manifeste et nécessaire, surtout pour les végétaux chlorophylliens. Sans lumière, pas de chlorophylle en eux, et par suite pas d'assimilation : la plante s'étiole. De nombreuses recherches ont été effectuées pour préciser l'action de la lumière sur les plantes. Parmi les espèces végétales, il en est qui aiment le soleil, d'autres la lumière diffuse, d'autres enfin l'ombre impénétrable des forêts et des anfractuosités rocheuses. A chacun de ces tempéraments luciphile ou lucifuge, correspond une physionomie et une structure spéciales. J. Chareyre a constaté que lorsqu'une plante verte est transportée à l'obscurité, le carbonate (cystolithes, etc.) et l'oxalate de chaux disparaissent graduellement de ses tissus et ne se reforment pas, etc.

2° Influence des conditions physiques du milieu

Influence physique des agents pondérables. — Après avoir rappelé l'action des différents agents cosmiques et impondérables, nous résumerons maintenant les influences physiques et chimiques exercées par le milieu ambiant sous ses trois états : gazeux (atmosphère), liquide (eau), solide (substratum).

a. Atmosphère. — Influence physique

Les qualités physiques de l'atmosphère dépendent de l'altitude et de la latitude. L'air devient de moins en moins dense et la pression diminue en raison de l'altitude; il devient de plus en plus froid en raison de l'altitude et de la latitude; la quantité de vapeur d'eau qui rend l'air sec ou humide varie également. Ces influences sont connexes au climat.

b. Eau. — Action physique

L'action de l'eau à l'état de vapeur se rattache, comme nous l'avons vu, à l'étude du climat. A l'état liquide, son étude se rattache à l'influence du substratum, puisque l'eau constitue un véritable substratum pour certaines plantes aquicoles ou aquatiques.

c. Sol. — Ses qualités et propriétés physiques

Les qualités physiques du sol exercent sur les plantes une influence tellement marquée que beaucoup de botanistes (1), notamment Alph. de Candolle, J. Thurmann, Ch. Contejean, Delbos, Oswald Heer, Schnizlein, De Gasparin, etc., leur ont accordé, comme d'autres l'ont fait à l'égard du climat, une influence absolue sur la distribution des plantes.

Chacun des quatre éléments constitutifs d'un sol complet lui communique, cela est indéniable, des qualités physiques spéciales :

1° L'*argile* donne au sol la ténacité et l'humidité.

2° Le *sable* donne au sol la perméabilité, l'ameublit, et le rend apte à conserver la chaleur ;

3° Le *calcaire* échauffe le sol (mais agit surtout chimiquement par lui-même et par la chaux) ;

4° L'*humus* aère le sol, l'ameublit et retient l'humidité.

Ces qualités physiques d'un sol dépendent en outre de la réunion d'un certain nombre de propriétés physiques, qui sont (2) la *texture* (sols compacts ou meubles), la *densité*, la *perméabilité* ou *imbibition*, le *pouvoir rétentif* (ou hygroscopicité de Gasparin), l'*hygrométricité*, le *pouvoir capillaire*, la *ténacité* (ou ténuité), l'*échauffement* et le *rayonnement*.

Théorie de l'influence physique. — Historique. — Vers 1840, un savant agronome et physicien, Schübler, a publié un travail remarquable sur les propriétés physiques des sols (3). Il chercha même à prouver que « la fertilité d'une terre dépend bien plus de ses propriétés physiques, de son état d'agrégation, de son aptitude à l'imbibition, etc., que de sa composition chimique».

Alph. de Candolle (*Géographie botanique*, p. 442-446) s'ef-

---

(1) V. plus loin la revue historique des principaux travaux relatifs à l'influence du sol.

(2) V. Léon Dumas, *in : Journal d'Agric. prat.*, 1881 et 1882.

(3) V. Boussingault. *De la terre végétale considérée dans ses effets sur la végétation* (*Ann. Sc. nat. bot.*, 4e sér., t. XII, 1859).

força de démontrer que «à part les plantes qui exigent beaucoup de composés ammoniacaux ou de sel marin, les autres trouvent dans tous les sols une quantité suffisante des autres substances minérales pour n'être réglées dans leurs stations que par les causes physiques du sol et non par la nature chimique des matières qu'elles absorbent».

Théorie de Thurmann. — Mais c'est J. Thurmann qui a été le champion le plus convaincu et le plus ardent de la théorie de l'influence physique du sol sur les plantes. Nous ne pouvons mieux faire que de citer le résumé de sa théorie publié par son disciple Contejean: «Le sol, selon Thurmann et son école, agit en raison de son état physique et de son mode mécanique de désagrégation, et nullement en raison de sa composition chimique et minéralogique. Si les espèces de la silice accompagnent obstinément les terrains quartzeux et feldspathiques, si les plantes du calcaire sont tout aussi localisées, c'est parce que les roches siliceuses produisent en se désagrégeant un sol meuble, humide et profond, et que les roches calcaires demeurent à peu près intactes et ne donnent qu'un sol superficiel, maigre et desséché.

»Le plus souvent, un mode de désagrégation constant correspond à une composition minéralogique particulière, de sorte que la manière d'être physique des roches se trouve dissimulée par leur nature chimique et qu'on attribue toute influence à cette dernière. Alors on trouve les plantes prétendues siliceuses sur la roche désagrégée, et les plantes prétendues calcaires sur la même roche compacte. Toutes les fois que les terrains siliceux se trouvent accidentellement massifs et résistants, ils ont la flore du calcaire, et si le calcaire devient sableux et détritique, il nourrit la flore de la silice».

Thurmann distinguait des roches :

1° *Pélogènes* : roches à désagrégation pulvérulente superficielle, donnant un détritus *pélique*, très ténu, au milieu de fragments anguleux de toute grosseur.

2° *Psammogènes* : désagrégation totale en profondeur, en petites parcelles grenues : sables meubles, ou détritus *psammique*.

Et puisque, d'après lui, le contraste des flores a pour cause essentielle l'état physique et le mode de désagrégation des roches sous-jacentes, d'où résultent les différences qu'on observe dans la profondeur et l'humidité du sol, il établit en conséquence trois classes de plantes :

1° *Hygrophiles*, particulières aux terrains eugéogènes : sables, grès, granites, argiles, etc. Quatre variétés : hygr. en général, hygr. plus psammiques, hygr. plus péliques, hygr. pélopsammiques.

2° *Xérophiles*, préférant les terrains dysgéogènes : calcaires, basaltes, porphyres compacts.

Deux variétés : X. préférentes, X. plus adhérentes.

3° *Ubiquistes* ou indifférentes.

D'après Thurmann, les plantes du granite, des schistes cristallins, etc., ne préfèrent pas la silice, mais recherchent les sols eugéogènes psammiques. Elles appartiennent toutes à la catégorie des hygrophiles psammiques et pélopsammiques. De même, les plantes du calcaire ne préfèrent pas le carbonate de chaux, mais exigent des sols dysgéogènes. Elles appartiennent toutes à la catégorie des xérophiles oligopéliques.

Après avoir adopté pleinement les idées de son maître Thurmann, Contejean les rejeta en grande partie. Mais, loin de nier toute action aux qualités physiques du sol, il leur conservait une influence ; et, appelant *lithiques* les xérophiles des rochers pour les distinguer de celles du sable, il modifia ainsi la nomenclature de Thurmann :

Plantes
- xérophiles (amies de la sécheresse)
  - Lithiques (des rochers).
  - Psammiques (du sable).
- hygrophiles (amies de l'humidité)
  - Lithiques.
  - Péliques (de l'argile).
  - Psammiques.

Henri Lecoq, qui était partisan de la prépondérance de l'influence chimique, accordait néanmoins une certaine importance aux propriétés physiques et, à ce point de vue, il classait les plantes en :

1° Plantes indifférentes .....
- terrestres.
- inondées.

2°	Plantes des sols	rocheux . . .	dysgéogènes de Thurmann.
3°	—	—	rocailleux . .	
4°	—	—	graveleux . .	
5°	—	—	sablonneux.	eugéogènes de Thurmann.
6°	—	—	détritiques . .	
7°	—	—	marneux . . .	

Action physique du sable, de l'argile, du calcaire et de l'humus. — Il est certain que le sable et l'argile ont une flore spéciale due à leurs propriétés physiques.

Ainsi, les *sables* portent surtout : *Plantago arenaria*, *Jasione montana*, *Gnaphalium arenarium*, *Ornithopus perpusillus*, etc. Les terres sablonneuses sont presque toujours siliceuses et renferment, en général, plus de 60 o/o de sable siliceux ; l'air et l'eau y circulent librement, et la capillarité, phénomène qui tend à amener l'humidité à la surface et à la faire disparaître ensuite par évaporation, ne peut s'y exercer. Ces terrains sont donc frais et ne souffrent jamais de l'excès d'eau.

L'*argile* n'a aucune action chimique directe. Son action physique, par contre, est très grande. Pure, elle ne porte aucune plante. Une terre est argileuse lorsqu'elle contient plus de 40 o/o d'argile (argile agricole et non argile chimique: l'argile agricole est composée essentiellement de silicate d'alumine, ou argile chimique, uni à des principes colorants et à un peu de sable très fin qui, à cet état de division extrême, a les mêmes propriétés que l'argile). Les terres argileuses sont imperméables, compactes et tenaces ; elles présentent en été des crevasses par lesquelles l'air pénètre et dessèche le sol profondément ; elles absorbent l'eau et la retiennent ; elles durcissent en séchant et compriment alors les racines ; elles gardent aussi la plupart des matières utiles des engrais, à cause de leur pouvoir absorbant ; elles sont froides puisque l'eau qu'elles ont absorbée ne disparaît que par évaporation.

Les principales plantes de l'argile (espèces péliques de Thurmann et Contejean) sont : *Tussilago farfara*, *T. petasites*, *Carex glauca*, *Equisetum eburneum*, *Juncus glaucus*, *Limosella aquatica*, *Thlaspi campestre*, *Inula dysenterica*, *Arctium Lappa*, *Cichorium Intybus*, etc.

Le *calcaire* agit surtout chimiquement, mais il donne aux terres des propriétés physiques spéciales. Une terre est vraiment calcaire lorsqu'elle contient plus de 40 à 50 o/o de carbonate de chaux. Les terres calcaires sont très poreuses et, par suite, très avides d'eau ; en temps de pluie, elles deviennent boueuses et restent mouillées longtemps ; en été, elles évaporent beaucoup à cause de leur grande porosité. Les végétaux y doivent donc souffrir à certains moments de l'excès d'eau, et à d'autres époques, de la sécheresse. Ces terres sont généralement blanches, offrent peu de ténacité, sont sèches et arides. Il y a plusieurs variétés de terres calcaires, parmi lesquelles il faut citer les *terres marneuses* (la marne est un mélange de calcaire, d'argile et de sable dans des proportions variables ; il y a donc des marnes calcaires, argileuses, siliceuses, magnésiennes, etc.). Les terres calcaires sont remarquables, ainsi que l'a fait observer le Dr A. Magnin, par leur précocité qui se manifeste par une avance très marquée des cultures et des récoltes.

L'*humus*, en faible proportion, améliore le sol. En excès, il nuit aux plantes. Les types de sols humiques, ou sols acides par excellence, sont les terres de bruyères des forêts incultes et les tourbes. Par leur manque de calcaire, et par leurs propriétés hygrophiles, les sols humiques se comportent physiquement comme les sols siliceux et portent conséquemment une végétation silicicole : *Vaccinium uliginosum* et *oxycoccos*, *Andromeda polifolia*, *Sweertia perennis*, *Scirpus cæspitosus*, plusieurs *Eriophorum* et *Carex*, diverses Muscinées (Sphagnacées, etc.), et d'autres espèces selon l'altitude des tourbières.

En définitive, les qualités physiques des sols ont une grande influence sur la végétation. Néanmoins, proclamons d'ores et déjà que cette influence est subordonnée à la composition chimique.

3° Influence de la composition chimique du milieu

Les considérations qui précèdent nous permettront, par leur comparaison avec celles qui suivent, de démontrer, irréfutablement et définitivement, nous l'espérons, *l'importance capitale*

et prépondérante, nous ne disons pas absolue et unique, de la composition chimique du substratum, dont nous sommes le partisan convaincu et déclaré.

a. Influence de la composition chimique de l'air

Etudions successivement l'action de la composition chimique de l'air, de l'eau et du sol.

Nous devons distinguer tout d'abord l'atmosphère proprement dite, qui baigne les parties aériennes des plantes, et l'atmosphère souterraine, qui entoure les racines.

La composition de l'air atmosphérique, lorsqu'elle varie, a une influence sur les plantes. Ainsi, l'acide carbonique, qui est normalement nécessaire à la vie des plantes, devient pour elles un poison dès que sa proportion atteint quelques centièmes. La diminution ou la disparition de l'oxygène produit également la mort plus ou moins rapide des plantes ; etc,

Quant à l'air souterrain, il est toujours, selon les recherches de Jentys, riche en acide carbonique (1 à 10 o/o en moyenne) et en humidité. Sa composition chimique (richesse en oxygène, etc.) varie beaucoup. On recommande avec raison de ne pas piétiner le sol des cultures et du pourtour des arbres, pour permettre le renouvellement de cet air souterrain.

b. Influence de la composition chimique de l'eau

Depuis longtemps, les physiologistes ont remarqué l'influence de la composition chimique de l'eau sur la végétation et surtout sur la germination.

Action sur les plantes aquatiques. — Nous ne parlerons point des plantes véritablement aquicoles ou aquatiques, qui possèdent une structure spéciale et qui végètent bien ou mal selon la température de l'eau et aussi selon sa pureté et sa composition chimique. Certaines plantes prospèrent dans les eaux troubles et limoneuses, telles que les *Potamogeton*, etc. ; d'autres, dans les eaux très pures. Un certain nombre veulent des calcaires (Charas, Desmidiées, nombreuses Mousses des eaux incrustantes, etc.); d'autres, des eaux sulfureuses, ferrugineuses (algues microscopiques des sources thermales) ; d'autres,

des eaux granitiques (*Montia rivularis*, *Corrigiola littoralis*, certains *Lemna*, etc.). Nous aurons en vue surtout l'action chimique de l'eau sur la végétation des plantes terrestres.

Action sur la germination. — Dans des recherches déjà anciennes, Strohmann, ayant cultivé des maïs en eau distillée, constata que leur végétation s'arrête au bout de 20 jours ; si on leur donne de la chaux (nitrate de chaux notamment), ils repartent en quelques heures. Wolff a constaté aussi l'influence favorable exercée surtout sur les racines par les eaux calcaires et séléniteuses.

En 1875, le savant physiologiste allemand Bœhm a étudié l'action de l'eau pure ou saline sur la germination. Nous reparlerons plus loin de ses conclusions sur la nécessité de la chaux dans la germination. Il a cultivé des haricots comparativement dans l'eau distillée, dans l'eau de fontaine et dans des solutions minérales. Voici ses principales conclusions :

1° La germination dans l'eau distillée se fait mal.

2° Les jeunes plantes élevées en eau distillée meurent tôt ou tard, mais toujours avant l'emploi de la totalité des matières de réserve de la graine. Pour que ces dernières puissent être utilisées, c'est-à-dire pour que les cotylédons se vident et que la germination soit complète et terminée, les matières de réserve accumulées dans les cotylédons ne suffisent pas, il faut qu'elles se combinent et qu'elles s'ajoutent à des matières minérales venues de l'extérieur.

3° Parmi ces matières presque indispensables à la complète germination, les sels calciques (notamment le calcaire, le plâtre, etc., et le chlorure de chaux excepté) sont les principaux ; et la chaux, d'après Bœhm, ne paraît pouvoir être remplacée par aucune autre base (le carbonate de magnésie, notamment, est positivement vénéneux).

4° De jeunes haricots, élevés en même temps et dans le même vase en eau distillée, meurent à des âges différents, après avoir atteint des tailles variant de 2 à 50 centimètres. Le poids de la graine est sans influence.

5° La cause de ces inégalités se rattache évidemment à la richesse différente des graines en sels calcaires.

6° Dans l'eau ordinaire et dans l'eau de fontaine, les plantes se développent régulièrement.

Les recherches postérieures de Ed. von Raumer et C. Kellermann (1886), et celles de Von Liebenberg, n'ont pas infirmé les résultats énoncés par Bœhm, mais les ont, au contraire, confirmés à peu près.

P.-P. Dehérain a vérifié et complété ces conclusions dans des expériences sur des haricots et sur des lentilles. La chaux, selon lui, n'est pas le seul minéral qui favorise la germination : la soude, le strontiane, etc., ont une action analogue. A ce propos, Dehérain a fait remarquer que le sel marin est, de tous les sels de soude, celui qui pénètre le mieux dans la plante, surtout quand il est présenté seul aux racines ; s'il n'est pas présenté seul, il n'est absorbé que s'il est en dose très notable, ce qui n'a jamais lieu dans les terres ordinaires ; d'où l'explication de l'absence habituelle de la soude dans les végétaux terrestres.

Nous avons tenu à répéter nous-même en partie les expériences de Bœhm et Dehérain. Nous avons fait germer comparativement dans l'eau distillée et dans l'eau ordinaire du Rhône, qui est assez calcaire, quelques graines de haricot et de plantes qui nous servaient à étudier l'action du carbonate de chaux (V. plus loin, chapitre des expér. personnelles). Les résultats furent à peu près semblables à ceux énoncés plus haut. Dans l'eau ordinaire, la germination s'est faite normalement ; dans l'eau distillée, les cotylédons n'ont pu se vider complètement, ils conservèrent leur forme sans devenir foliacés ; les jeunes plantules nous ont présenté le facies spécial décrit par Bœhm : parties inférieures de la tige très gonflées et fistuleuses, sommet grêle et malade ; les quelques petites feuilles qui ont apparu sont tombées à peine formées, la plante n'a subi aucun allongement et n'a pas tardé à périr. On dirait que les matières de la graine éprouvent une grande difficulté à cheminer dans la tige. Une trace de chaux, ainsi que Bœhm l'a remarqué, suffirait à faire partir la plante. La cause qui, dans l'eau distillée, empêche la migration des principes immédiats des cotylédons, est à peu près inconnue. D'après Bœhm, la

chaux intervient dans le transport de l'amidon, puisque, faute de chaux, cet hydrate de carbone s'accumule dans les entre-nœuds inférieurs et n'arrive pas jusqu'au sommet de la plante. Les résultats sont identiques si l'on fait germer les graines sur un sol inerte : sciure de bois, sable pur, pierre ponce, etc., en arrosant avec de l'eau distillée.

A propos du mot «germination». — Mais il importe aussi de bien s'entendre sur la signification du mot *germination*. La graine est un œuf, et tout œuf porte en lui les matières suffisantes à la nourriture du jeune embryon. Mais, d'une part, l'on ne peut dire que la germination est terminée lorsque les parties de la plantule ont apparu au dehors. Non, la germination n'est morphologiquement et surtout physiologiquement accomplie que lorsque les cotylédons se sont vidés et ont disparu; de même un œuf de poisson n'est complètement germé et développé que lorsque la vésicule vitelline a totalement disparu. D'autre part, la germination de la graine ne peut même pas se comparer à celle de l'œuf animal, car, chez ce dernier, l'oxygène fourni par la respiration est seul nécessaire, tandis que dans la graine, il faut en outre, comme nous venons de le voir, des matières nutritives minérales fournies par l'eau et le sol.

Action sur la végétation : eaux d'arrosage, etc. — Les recherches des auteurs sus-dénommés et celles récentes de P. Lesage (1890) et de Dassonville (1898) ont montré l'influence de la composition chimique de l'eau sur la végétation. Lesage a étudié l'action nocive de l'eau salée sur les plantes terrestres ; Dassonville a étudié l'action utile ou nuisible de diverses solutions aqueuses. Nous tenons à résumer les intéressantes conclusions de Dassonville. Si nous les plaçons ici, c'est parce qu'il a, en grande partie, opéré sur des solutions aqueuses minéralisées, et que, selon nous, les résultats ainsi obtenus ne peuvent être appliqués qu'avec réserves au *sol*, dans lequel des réactions complexes se produisent qui peuvent changer les résultats obtenus dans l'eau avec tel ou tel sel, à moins de lui fournir une dose très forte de chaque sel, ce qui n'a jamais lieu dans la nature, sauf pour le calcaire. Voici les différences

constatées par Dassonville en comparant des plantes de même espèce, en voie de croissance, et de même âge :

Eau distillée	*Eau minéralisée*
— Pas de lacunes aérifères dans l'écorce.	— Formation de lacunes aérifères dans l'écorce de la racine.
— L'épiderme de la tige est cutinisé.	— Les cellules de l'épiderme sont minces.
— Les cellules du mésophylle sont très fortement scléritiées ; quelquefois aussi celles du cylindre central de la racine (avoine) ou de la tige (sarrasin).	— La sclérification est très faible, sinon nulle.
— Tissus rapidement très lignifiés.	— Les plantes versent avant d'avoir présenté trace de lignification.
— Racines courtes et épaisses.	— Racines longues et grêles.
— Feuilles rudimentaires.	— Feuilles plus développées.

On sait, d'autre part, qu'il est impossible de cultiver des Oignons à fleurs dans l'eau trop pure, ou dans l'eau distillée ou bouillie.

Tous les agriculteurs savent que la composition chimique de l'eau d'arrosage influe sur la végétation ; l'eau doit être riche en principes minéraux et en matières organiques, mais, à ce point de vue, il ne faut pas confondre la *suspension* des particules avec leur *dissolution*. Enfin, nous verrons, au chapitre de nos expériences personnelles, que le développement de nos plantes n'a pas été aussi complet avec l'arrosage à l'eau distillée que si nous eussions employé l'eau ordinaire. En somme, la composition chimique de l'eau exerce une grande influence sur le développement de toutes les espèces végétales et sur la distribution de quelques-unes.

c. Influence de la composition chimique du sol

Le sol, support ou substratum de la grande majorité des plantes, est aussi un réservoir d'aliments. Tous les botanistes reconnaissent donc au sol une importance considérable, non seulement, comme nous l'avons vu, eu égard à ses propriétés physiques, mais aussi et surtout selon sa composition chimique.

Nous consacrerons à cette question capitale les chapitres suivants.

4° Influences spéciales : Concurrence vitale, etc.

Concurrence vitale. — Lutte pour la vie. — Aucun botaniste, devant l'évidence des faits, ne peut nier complètement l'influence physique et surtout chimique du sol sur les plantes. Et cependant, quelques observateurs, plutôt théoriciens, ont cherché à substituer, à la doctrine de l'influence du sol, la notion de la *concurrence vitale* (lutte pour l'existence, *struggle for life* de DARWIN).

NÆGELI (*Sitzunberichte der k. bayer. Akad. d. Wiss.*, 1865) est un des premiers apôtres de cette théorie. Ses exemples topiques sont tirés de la comparaison du *Rhododendron ferrugineum* avec *Rhod. hirsutum*, et de l'*Achillea atrata* avec *Ach. moschata*. Les deux espèces voisines, a-t-il dit en substance, sont étroitement liées à la nature du sol ; mais si l'une d'elles vient à manquer, l'autre se montre indifféremment sur l'un ou l'autre terrain. Donc, elles se faisaient concurrence !

Cette assertion est erronée et repose certainement sur des erreurs d'observation, ainsi que l'a démontré le Dr SAINT-LAGER, qui, au moins aussi bien que NÆGELI, a parcouru et étudié lui-même en détail les stations de ces plantes.

GASTON BONNIER (1880), entre autres, a adopté les idées de NÆGELI : « La nature du sol, dit-il, influe certainement sur la distribution de certaines espèces ; mais d'une manière relative et non d'une manière absolue. Si l'on supprime la concurrence vitale, presque toutes les plantes pourront croître dans le même sol. C'est ce qui arrive dans les jardins botaniques (1). Quant à l'influence des propriétés physiques du sol, on sait qu'elle est très considérable, mais il est bien difficile de l'observer d'une façon précise ».

Sous l'impulsion des idées séduisantes de DARWIN sur l'évolution (idées qui ont elles-mêmes subi une telle évolution et une telle exagération que Darwin lui-même, s'il vivait encore,

(1) Nous verrons plus loin que cette assertion est loin d'être toujours exacte.

en serait certainement fort surpris!), un grand nombre de savants se sont emparés de la notion de concurrence vitale pour s'en servir d'argument facile en beaucoup de cas embarrassants. Et nous pourrions citer tels ouvrages ou traités classiques de botanique qui font à peine mention de l'influence chimique du sol pour accorder, en revanche, de longs développements à la concurrence vitale.

Nous ne prétendons point nier que les plantes, par leur voisinage réciproque, se nuisent les unes aux autres et par conséquent luttent, en quelque sorte, d'abord pour se perpétuer sans se laisser étouffer, ensuite pour tâcher de conquérir le terrain occupé par leurs voisines. Chacun sait que les graines fournies par une plante se perdent et périssent en grand nombre parce qu'elles ne peuvent se développer, la place étant déjà occupée par d'autres. Les espèces plus envahissantes, celles qui montent pour ainsi dire sur les autres, sont évidemment les plus plastiques, pourrait-on dire, en même temps que les plus résistantes ; sans parler, bien entendu, de celles qui ont des moyens faciles ou particuliers de multiplication, telles que les *Chara*, *Helodea*, les Mousses, etc.

Concurrence vitale et adaptation. — L'adaptation n'est point toujours en rapport avec la concurrence vitale ; c'est simplement la persistance du plus apte, selon la définition d'Herbert Spencer, car il y a des plantes qui ne sont point trop serrées par d'autres, qui ne sont pas en concurrence bien directe, et qui pourtant ne s'adaptent pas à tous les sols. Tel est le cas de nombreux cépages américains qui ne sont pas en concurrence, puisque l'on s'évertue à les placer dans les meilleures conditions possibles et à les entourer de soins. Il n'est donc pas toujours exact de dire, avec l'abbé Masclef, que « si une plante est spécialement localisée dans un terrain particulier, c'est que, plus forte et plus apte sur ce terrain que ses congénères, elle les a vaincues dans la lutte pour la vie et s'y est adaptée ».

Admettons néanmoins, avec Contejean, que la concurrence vitale ainsi que le changement du climat et du genre de station sont les principaux obstacles à certaines tentatives de naturalisation ou aux *implantations accidentelles*. Témoin les soixante

espèces appelées *plantes de la guerre*, importées d'Allemagne en 1870-1871. Ces plantes accidentelles, observées notamment à Poitiers et à Besançon, n'ont pas laissé de traces et ont immédiatement disparu, sauf une. Les envahisseurs ont succombé dans la lutte contre les premiers occupants.

Mais nous n'accordons pas, et nous croyons qu'il ne faut pas accorder une importance générale et exclusive au fameux principe darwinien.

Un des arguments invoqués en faveur de la concurrence vitale contre l'influence chimique du sol a été la découverte de nombreux pieds de *Pteris aquilina* croissant dans les ruines de la Cour des Comptes, à Paris, sur un sol contenant 20 à 25 o/o de calcaire. Ce fait est encore, il est vrai, mal expliqué ; et la notion de la concurrence vitale peut intervenir ici facilement.

Mais pourquoi est-ce spécialement *Pteris aquilina*, et non pas une autre cryptogame ou phanérogame silicicole, qui est venue s'établir, seule, sur ce terrain calcaire?

J. Vallot a d'ailleurs fourni un exemple tout opposé. Il a rencontré, dans les bois de Lodève, au milieu du calcaire, une localité siliceuse restreinte à quelques mètres carrés, et le même *Pteris aquilina* est venu s'y établir et y régner en maître, *malgré la concurrence vitale* qu'ont dû lui faire les plantes occupant le terrain calcaire environnant sur lequel, d'ailleurs, le *Pteris* est totalement absent! Vallot a observé un fait analogue pour d'autres plantes, notamment pour l'*Asplenium septentrionale*. « Je ne crois pas, conclut ce savant, qu'on puisse trouver une preuve plus probante de l'influence chimique du sol sur la distribution des végétaux », et, aurait-il pu ajouter, un meilleur argument contre la théorie de la concurrence vitale exclusive. Au surplus, dans un mémoire récent (1895), le Dr Saint-Lager, l'un des plus savants botanistes français, a réfuté victorieusement la théorie de Nœgeli, en reprenant les arguments mêmes de ce dernier.

Alimentation minérale et parasitisme. — On n'a pas jusqu'ici accordé, selon nous, une importance suffisante à l'influence exercée par le parasitisme.

Il est aujourd'hui démontré que les plantes sauvages ou cul-

tivées ont à lutter sans cesse, non pas seulement contre leurs voisines par la concurrence vitale, mais aussi contre les parasites animaux ou végétaux qui les assaillent toutes sans relâche.

Qui ne connaît, par exemple, l'interminable discussion ouverte à propos des plantes carnivores ? Les naturalistes qui ont soutenu que les poils et les feuilles glandulaires de ces plantes sont des organes de nutrition ayant pour but de digérer la matière animale sont peut-être un peu dans le vrai, mais ce sont tout aussi bien des organes ayant pour objet la défense contre tout être nuisible. Mais sans nous attarder à cette question controversée, nous devons ajouter que certaines plantes résistent mieux que d'autres aux parasites. Là encore nous voyons intervenir l'influence de la nutrition minérale et de la composition chimique du sol. Nous rendrons compte plus loin des si curieuses et savantes recherches de E. Laurent sur la relation du Gui avec la nature du sol, et sur l'influence de l'alimentation minérale dans la résistance des plantes à leurs parasites.

En tout et partout, nous retrouvons donc, en dernière analyse, l'action chimique du sol. Les relations entre le parasitisme et la symbiose sont aussi, on le sait, extrêmement étroites, il n'y a qu'une différence de plus ou de moins, et la symbiose se rattache, elle aussi, en définitive à l'influence chimique du substratum. Mais nous devions signaler ces actions spéciales et complexes du parasitisme et de la symbiose sur le développement et la distribution des végétaux.

B. — INFLUENCES INTRINSÈQUES INDIVIDUELLES

Station des plantes. — Si nous arrivons aux influences individuelles, nous tombons, nous l'avouons, dans le domaine de l'inconnu. Les qualités et propriétés intrinsèques des plantes, on le conçoit, sont à peu près impossibles à connaître et à préciser. Chaque végétal, pourtant, a son tempérament propre, ses goûts, ses caprices, ses idiosyncrasies; chaque plante a son immunité ou sa vulnérabilité individuelles, etc.

Pourquoi, en effet, telle variété, telle colonie, résiste-t-elle

mieux que telle autre aux agents nocifs, au froid, au brouillard, aux maladies constitutionnelles ou infectieuses ?

Qu'est-ce, en définitive, que la *station* d'une plante, sinon l'habitat spécial qu'elle *préfère* ? Il y a des plantes qui préfèrent les bruyères, les pelouses sèches, les bois de pins ou de sapins, les balmes, les rocailles, les prairies, les moissons, les terres à vignes, les haies, les marécages, le limon, les flaques puantes, les toits et les murs, etc.

Le Dr Ant. Magnin, dans ses très nombreuses observations sur la géographie botanique, a soigneusement noté et précisé les stations préférées d'une foule d'espèces (1). Si l'on observe bien attentivement, on s'aperçoit même que bien peu de plantes sont réellement ubiquistes ou indifférentes dans le sens général du mot Presque toutes ont leurs stations préférées ; mais, nous n'hésitons pas à le déclarer, la station d'une plante est toujours dominée, réglée et influencée d'abord par la composition chimique du sol, puis par le climat et par les propriétés physiques du sol.

C. — CONCLUSIONS GÉNÉRALES

1° De toutes les influences extrinsèques et intrinsèques réunies résulte donc, en définitive, une distribution spéciale à chaque espèce végétale et la formation d'associations d'espèces parfois très différentes morphologiquement, mais ayant physiologiquement les mêmes besoins généraux et, jusqu'à un certain point, les mêmes qualités et préférences particulières ;

2° La composition chimique du substratum nous apparaît déjà comme le plus important de tous les facteurs qui commandent à ces répartitions, et c'est à cette démonstration que nous allons maintenant nous appliquer spécialement, après avoir passé une revue rapide des principaux travaux consacrés par les botanistes phytogéographes à l'influence du sol.

---

(1) V., entre autres, l'excellent résumé de géographie botanique donné par D. Cauvet dans son *Cours élémentaire de Botanique ;* P. Vuillemin, la *Biologie végétale* (1 vol., 1892) ; les traités classiques de botanique, etc.

CHAPITRE DEUXIÈME

REVUE HISTORIQUE DES PRINCIPAUX TRAVAUX RELATIFS A L'INFLUENCE DU SOL SUR LES VÉGÉTAUX[1]

1 1751 Ch. Linné (Carolus Linnœus). — *Philosophia botanica* (Stockolm, 1751, et édit. suivantes). Exprime dans cet aphorisme : « *Dignoscitur ex sola inspectione plantarum subjecta terra et solum* », la relation qui existe entre le tapis végétal et la nature des terrains, relation qui était déjà connue des anciens botanistes, sans être toutefois bien comprise.

2 1780 Abbé Giraud-Soulavie. — *Histoire naturelle de la France méridionale* (8 vol., Paris, 1780). Observations sur le Châtaignier et sur la végétation des terrains calcaires, siliceux et volcaniques.

3 1789 Heinrich Friedrich Link. — *Floræ Gœttingensis specimen, sistens vegetabilis saxo calcareo propria.* D. inauguralis botanico-medica (Gœttingen, 1789).

4 1798-1800 Mouton-Fontenille. — *Observations sur les différentes espèces de végétaux propres aux montagnes calcaires et granitiques des environs*

(1) Nous signalons particulièrement les partisans de la théorie de l'influence de la composition chimique du sol ; mais il est entendu que l'influence physique du sol n'est complètement contestée par aucun botaniste.

de Grenoble, mémoire faisant suite au *Tableau des systèmes de botanique généraux et particuliers* (Lyon, 1798).

5 1800 Frédéric Stromeyer. — *Commentatis inauguralis sistens Hist. vegetabilium geograph. specimen* (Gœttingen, 1800). Émet des considérations importantes sur l'influence physique du sol.

6 1803 J.-F. Blumenbach. — *Manuel d'histoire naturelle*, trad. de l'allemand par Soulange Artaud (2 vol., Metz, 1803). Partisan de l'influence chimique. Dans le tome II, *Des Plantes*, il dit textuellement : « En général, presque chaque terrain nourrit ses plantes propres, de sorte qu'on peut quelquefois deviner la nature d'un sol par ses plantes indigènes ».

7 1803 G.-R. Treviranus. — *Biologie* (Gœttingen, 1803). Dans le tome II, *Sur la distribution des corps vivants à la surface du globe*, il établit les principes de la géographie botanique.

8 1804 Th. de Saussure. — *Recherches chimiques sur la végétation*. Considérations sur les matériaux du sol absorbés par les plantes.

9 1805-1807 Alex. de Humboldt et Bonplaud. — *Essai sur la géographie des plantes*. Humboldt reconnaît, très vaguement d'ailleurs, que la nature des roches a, sur la distribution des plantes, une influence indépendante de l'altitude et de la latitude.

10 1809 Pyrame de Candolle. — *Dictionnaire d'agriculture*, t. VI, p. 363.

11 1814 Wahlenberg. — *Flora Carpatorum principalium* (Gœttingen, 1814). Pense que l'influence du climat prime l'influence chimique.

12 1820 Pyr. de Candolle. — *Dictionnaire des sciences*

naturelles (articles *Géographie botanique*, t. XXIII, et *Physiologie végétale*, t. III). Admet l'influence chimique, mais surtout l'influence physique.

13 1825 A. DE CAUMONT. — *Essai sur la topographie géognostique du Calvados* (*Mém. Soc. Linn. du Calvados*, t. IV). Signale l'influence minéralogique du sol.

14 1828 ALPH. DE BRÉBISSON. — *Coup d'œil sur la végétation de la Basse-Normandie, considérée dans ses rapports avec le sol et les terrains* (*Mém. Soc. Linn. du Calvados*, t. IV, 1828). Admet l'influence minéralogique du sol.

15 LACHMANN. — *Flora Brunswicensis* (Braunschweig, 1828). Constate la variété de végétation selon les terrains.

16 1829 MURRAY. — *A memoir regarding the natural history of Alford* (*Edinburg philosophical Journal*, t. VI, 1829). Ne croit pas à l'influence chimique.

17 J. HOLANDRE. — *Flore de la Moselle* ou *Manuel d'herborisation* (Metz, 1829). Donne des listes de plantes d'après les terrains.

18 1830 THOMSON. — *Remarks on the relations subsisting between strata and the plants*, etc. (*London's Magazine*, t. III, 1830). Croit aux rapports des plantes avec la composition chimique du sol.

19 1832 J. ZAHLBRUCKNER. — *Beiträge zur Landeskunde Œsterreichs, unter der Enns* (Wien, 1832). Consacre un chapitre aux plantes du calcaire et du granite.

20 1833 WATSON. — *Observations on the affinities between plants and subjacent rocks* (*London's Magazine*, t. VI).

21 1835 Grateloup. — *Discours sur la géologie d'application à l'agriculture*. etc.

22 1836 F.-J.-F. Meyen. — *Grundr. d. Pflanzengeographie* (Berlin, 1836).

23 Griesselich. — *Versuch einer Statistik der Flora Badens*, etc. (*Kleine botan. Schriften*) (Karlsruhe, 1836).

24 Dubourg-d'Isigny. — *Aperçus généraux sur la géologie et la flore de l'arrondissement de Vire* (1re édition, Vire, 1836; 2e édition dans *Mém. Soc Linn. de Normandie*, t. VI, 1838). Paraît partisan de l'influence chimique.

25 Oswald Heer. — *Die vegetation verhältnisse des südostlichen Theils des Cantons Glarus ; ein Versuch die pflanzengeographischen Erscheinungen der Alpen aus climatologischen und Bodenverhältnissen abzuleiten* (*Frobel's und Heer's Mittheilungen aus dem Gebiet der theoretischen Erdkunde*, t. I, III et IV, Zurich, 1836).

26 Dr F. Unger.— *Ueber die Einfluss des Bodens auf die Vertheilung der Gewächse, nachgewiesen in der Vegetation des nordostlichen Tirol's* (Wien, 1836). Partisan déclaré de l'influence chimique. Il cite les observations faites par ses devanciers : Zuccarini et Sieber sur le versant sud des Alpes ; Walhenberg dans les Carpathes et en Suède ; Martins en Amérique, dans la région du fleuve San-Francisco ; Zahlbruckner en Autriche; Lachmann dans le Brunswick, etc. Tous ces naturalistes ont été frappés de la différence de végétation entre les terrains calcaires ou siliceux.

Unger classe, le premier, fort justement, les plantes en :

Bodenstete Pflanzen (plantes exclusives)
- 1° *Kalkstete* (spéciales à la chaux).
- 2° *Schieferstete* (spéciales aux schistes).

Bodenholde Pflanzen (plantes préférentes)
- 3° *Kalkholde* (amies de la chaux).
- 4° *Schieferholde* (amies des schistes).

5° *Bodenwage Pflanzen* (plantes indifférentes au sol).

Il donne une liste de 62 exclusives, 10 préférentes des sols calcaires et 11 caractéristiques des schistes argileux de la région de Kitzbühel, où il exerçait sa profession médicale. Il discute les exceptions et les anomalies apparentes. Ch. Martins, en rendant compte, dans les *Ann. des Sc. nat.* (2e série, t. 8, 1837), de l'ouvrage du Dr Unger, fait remarquer combien il est riche en faits intéressants et en aperçus nouveaux.

27 1836 Dr Carion. — *Sur la distribution de la végétation naturelle sur le sol de l'arrondissement d'Autun* (*C. R. des travaux de la Soc. Eduenne* de 1836 à 1837; Autun, 1839).

28 1837 H.-C Watson.— *Bemerkungen über die geograph. Vertheilung und Verbreitung d. Gewächse Grossbritanniens* (Breslau, 1837).

29 1838 Hugo von Mohl. — *Ueber den Einfluss des Bodens auf die Vertheilung der Alpenpflanzen* (réimprimé dans *Vermischte Schriften*, 1845). Partisan de l'influence chimique.

30 G.-F. Ruehle. — *Uber Einfluss des Bodens auf die Vertheilung der Alpenpflanzen* (Tübingen, 1838).

31 1839 Al. de La Fons, baron de Mélicocq.— Préface de

son *Prodrome de la flore des arrondissements de Laon, Vervins, Rocroy et Noyon* (Noyon, 1839).

32 1840 De La Fons de Mélicocq.— *L'influence de la nature du sol sur la distribution des végétaux, démontrée par la végétation de Laon, Vervins, Rocroy et Givet* (*Bull. Soc. Linn. du Nord de la France,* t. I, 1840).

33 1843 Dœll. — *Rheinische Flora* (Franckfurt, 1843). Partisan de l'influence chimique.

34 Godron. — *Flore de Lorraine* (Nancy, 1843 ; 2e édit., 1857). Pense que l'influence chimique prime l'influence physique.

35 Grabowski. — *Flora der Oberschlesien u. d. Gesenke* (Breslau, 1843). Disciple de Unger.

36 Machaska. — *Conspectus geognostico-botanicus circuli Boleslawiensis in Bohemia* (Vindob., 1843).

37 1844 Beaudouin.— *Note sur quelques-unes des applications des sciences géologiques* (*Bull. de la Soc. géolog. de France*, 2e s., t. I, 1844). Adopte la théorie de l'influence chimique. Après lui, Mgr Billiet, MM. Virlet, Chamousset, Clément, Mullet, Bernard se déclarent aussi partisans de l'influence chimique. M. Michelin, au contraire, semble se rallier à l'influence de l'altitude et des propriétés physiques.

38 1845 Adrien de Jussieu. — *Géographie botanique* (*Diction. univers. d'hist. nat.*, Paris, 1845). Partisan de l'influence physique, sauf pour le chlorure de sodium (plantes maritimes).

39 Fallou. — *Einfluss der Gebirgformationen auf die vegetation im Erzgebirge* (*Acta Janoblowskischen Gesellschaft*, t. IX, Leipzig, 1845).

40 1846 Durand-Duquesney. — *Coup d'œil sur la végétation des arrondissements de Lisieux et de Pont-l'Évêque* (Lisieux, 1846). Croit à l'influence de la nature du sol.

41 Aug. Neilreich. — *Flora von Wien*, 1846 ; *Nachtraege*, 1851. Nombreuses indications concernant l'influence chimique des terrains.

42 Hruschauer. — Voir les *Annales* de Liebig, t. LIX. Un extrait dans la *Revue* de Grisebach, 1846, Berlin, 1849.

43 Auguste Le Jolis. — *Observations sur quelques plantes découvertes aux environs de Cherbourg* (1re éd. *Mém. Soc. Acad. de Cherbourg*, 1846 ; 2e éd. *Ann. des Sc. nat.*, 3e s., t. VII, 1847).

44 Hugo von Mohl, — *Ueber den Einfluss des Bodens auf die Vertheilung der Alpenpflanzen* (Dissertation de 1838, réimprimée dans les *Vermischte Schriften*, Tübingen, 1846). Partisan de la théorie chimique ; disciple du Dr Unger.

45 Mougeot. — *Considérations générales sur la végétation des Vosges* (Épinal, 1846).

46 1847 Jules Thurmann (*Bull. Soc. géolog. de France*, 2e s., t. IV, 1847). Conclut de ses recherches que la composition chimique du sol est sans influence sur la végétation.

47 1847 Nérée Boubée (*ibid.*). Admet, contrairement à Thurmann, l'influence chimique.

48 Charles des Moulins. — *Examen des causes qui paraissent influer particulièrement sur la croissance de certains végétaux* (*Mém. de l'Institut des Provinces*, t. I, Caen, 1847). Convaincu de l'influence chimique.

49 1847 Lecoq et Lamotte. — *Catalogue raisonné des plantes vasculaires du Plateau central de la France* (Paris, 1847). Distinguent l'habitat minéralogique de chaque espèce.

50 1848 Ch. des Moulins.— 2e mémoire : *Éclaircissements sur la construction d'un tableau de la station des plantes;* 3e mémoire : *Discussion de quelques objections; examen de la question au point de vue des plantes prairiales et messicoles* (*Actes de la Soc. Linn. de Bordeaux*, t. XV, 1848).

51 Ch. des Moulins. — Voir *Bull. Soc. géolog. de France*, 1848, 2e cahier.

52 Félix Dunal. — *De l'influence minéralogique du sol sur la végétation* (*Mém. de la Section des Sciences de l'Académie des Sc. et Lettres de Montpellier*, 1848, t. I, 1847-1850). Partisan convaincu de l'influence chimique du sol ; il explique les anomalies apparentes et attribue aussi une influence à la dolomie.

53 Lœhr. — *Versuch einer Zusammenstell. über die Einfluss der geognostischen Bodens-Beschaffenheit auf das Vorkommen der Pflanzen* (*Arch. de Pharm.*, 1848).

54 W.-B. et R.-E. Roggers.— *Ueber Zersetsung und Auflösung von Mineralien und Felsarten durch reines und kohlensaures Wasser* (*Simill. Journ.*, 1848. — Cité dans le *Leonhards und Brown neues Jahrbuch*, 1848).

55 Adalbert-Schnizlein und Albert Frickinger. — *Die Vegetations-Verhältnisse des Jura und Keuper-formation in den Flussgebieten der Wornitz und Altmühl, mit einer topogr. geogn. Karte* (Nördlingen, 1848). Partisans déclarés de l'in-

fluence chimique du sol. Classent les plantes en sept catégories, d'après la constitution chimique des terrains.

56 1848 TOMMASINI. — *Ueber den Einfluss des Bodens auf die Vertheilung der Gewächse im Gebiete der geolog. Karte Istriens* (*Geolog. Verhältn. Istriens*, Wien, 1848).

57 F. UNGER und HRUSCHAUER. — *Z. Lehre von d. Bodenstetigkeit gewisser Pflanzen.*

58 1849 BOREAU. — *Flore du Centre de la France* (2 vol., Paris, 1849, et édit. suivantes). Partisan de l'influence chimique.

59 DUROCHER. — *Observations sur les rapports qui existent entre la nature minéralogique des divers terrains et leurs produits végétaux* (*Bull. Soc. géolog. de France*, 1849). Croit à une influence complexe, à la fois chimique et physique.

60 JULES THURMANN. — *Essai de phytostatique appliquée à la chaîne du Jura et aux contrées voisines* (Berne, 1849). Partisan convaincu de la théorie de l'influence physique. Il n'admet l'influence chimique que dans les terrains contenant du chlorure de sodium ou des sels très solubles dans l'eau, tels que les nitrates, sulfate d'ammoniaque, etc.

61 1850 CARL BOGENHARD. — *Taschenbuch der Flora von Jena* (Leipzig, 1850). Partisan de l'influence de la composition chimique du sol, subordonnée pourtant au climat.

62 ALEXIS JORDAN. — *Rapport sur l'essai de phytostatique de Thurmann* (Lyon, 1850). Discute la théorie de Thurmann, qu'il accepte sous réserves.

63 1850 F. Unger et Hruschauer. — *Beiträge zur Lehre von der Bodenstetigkeit gewisser Pflanzen* (*Sitzungsber. der Kais. Akad. der Wissensch. in Wien*, math.-naturaw. Cl., t. I, 1850). Ont analysé des végétaux développés sur terrains calcaires et siliceux.

64 1851 Von der Marck. — *Verhandlungen der naturhistorischen Vereines der preussischen Rheinlande und Westphalens* (t. VIII, Bonn, 1851).

65 1852 Kirschleger. — *Flore d'Alsace* (t. III, *Végétation rhénano-vosgienne*, Strasburg, 1852). Déclare (p. 37) qu'il admet l'influence chimique du sol, mais seulement pour quelques espèces peu nombreuses.

66 1853 Charles Contejean. — *Remarques sur la dispersion des plantes vasculaires, relativement aux roches sous-jacentes, dans les environs de Montbéliard* (*Actes de la Soc. helv. des sc. nat.*, Porrentruy, 1853). Disciple de Thurmann. Conclut à la répartition des espèces selon l'agrégation mécanique du sol et non pas selon sa composition chimique.

67 Pokorny. — *Erster Bericht der Commission zur Erforschung der Torfmoor* (*Œsterreichs zool.-bot. Verein in Wien*, 1853).

68 J. Thurmann. — *De la marche à suivre dans l'étude de la dispersion des espèces végétales, relativement aux roches sous-jacentes* (*Actes Soc. helvét. sc. nat.*, 38e session, Porrentruy, 1853).

69 D. Stur. – *Beobachtungen über den Einfluss der geognostischen Unterlage auf die Vertheilung der Pflanzen in Œsterreich und Steiermark* (*Verhandl. des zool.-bot. Vereins zu Wien*, t. III, 1853). Partisan de l'influence chimique du sol et des roches.

70 1853 Wirtgen. — *Flora der preussischen Rheinprovinzen und der zumächst angränzenden gegenden* (*Verhandl. d. naturhist. Ver. d. Preuss. Rheinlande*. Bonn, 1853, et à part, 1857). Partisan de l'influence physique.

71 1854 Ch. Contejean. — *Énumération des plantes vasculaires de Montbéliard* (*Mém. Soc. d'émul. du Doubs*, et à part, Besançon, 1854). Toujours partisan déclaré de la théorie physique de Thurmann.

72 Delbos. — *Recherches sur la répartition des végétaux dans le département de la Gironde* (*Mém. Soc. sc. phys. nat.* Bordeaux, t. I, 1854). Adopte sans la discuter la théorie de Thurmann.

73 Henri Lecoq. — *Études sur la géographie botanique de l'Europe et en particulier sur la végétation du Plateau Central de la France* (t. II, Paris, 1854). Accorde de l'importance aux propriétés physiques, mais une plus grande encore à la composition chimique du sol.

74 J.-Emile Planchon. — *Sur la végétation des terrains siliceux du Gard et de l'Hérault* (*Bull. Soc. bot. de France*, t. I, 1854). Partisan de l'influence chimique du sol. Il explique plusieurs anomalies apparentes. A la suite de la communication du mémoire de M. Planchon, plusieurs membres de la Société botanique, MM. Brongniart, de Schœnefeld, Chatin, Puel, Moquin-Tandon, Ménière apportent des observations à l'appui.

75 J.-E. Planchon. — *Sur la végétation spéciale des dolomies du Gard et de l'Hérault* (*Bull. Soc. bot. de France*, t. I, 1854). Partisan de l'influence chimique du calcaire, de la silice et aussi de la magnésie.

76 1854 Otto Sendtner. — *Beiträge und Berichtigungen zu der Bodenfrage der Pflanzen, gesammelt im bayerischen Walde während des Sommers*, 1854 (*Flora oder bot. Zeit.*, 1854). Pense que la composition chimique du sol est toujours manifestement prépondérante.

77 Otto Sendtner. — *Die Vegetations-Verhältnisse Südbayerns nach den Grundsätzen der Pflanzengeographie und mit Bezugname auf die Landescultur geschildert* (München, 1854).

78 1855 Alph. de Candolle. — *Géographie botanique raisonnée* (2 vol. Genève, 1855). Dans le t. I, p. 422 et suiv., il se déclare partisan de la théorie de l'influence physique, et à la suite de Thurmann il n'admet l'influence chimique que lorsque le sol contient des sels très solubles dans l'eau.

79 De Schœnefeld. — *Rapport sur l'herborisation dans la forêt de Fontainebleau* (*Bull. Soc. bot. de France*, 1855).

80 D. Stur. — *Beiträge zur Flora von Salzburg* (*Œsterreichisches Wochenblatt*, t. V, 1855).

81 Dr C. Voith. — *Zur Bodenfrage der Pflanzen dienende chemische Analysen ausgeführt* (*Erländert von O. Sendtner*) (*Flora*, 1855).

82 1856 Dr Hyrth und Dr Schrœtter. — *Tageblatt der 32e Versammlung deutscher Naturforscher und Aerzte in Wien, in Jahre*, 1855 (N° 7 : *Separätsitzung für Pflanzengeographie am 20 september 1856*). La plupart des botanistes présents à cette réunion se sont prononcés pour la prépondérance de l'action physique. Le professeur Sendtner a seul défendu l'influence chimique.

83 Carl Rœthe. — *Analysen der Asche der Früchte von* Alnus incana DC. *von verschiedenen Boden, sowie der entsprechenden Bodenarten* (IX, *Bericht des naturhist. Vereins in Augsburg*, 1856).

84 1856 O. Sendtner.— *Ueber die Entwicklungsgeschichte des Pflanzenreichs: ein Vortrag gehalten bei der Naturforscherversammlung zu Wien am 20 september 1856* (*Flora*, 1856).

85 D. Stur.— *Ueber den Einfluss des Bodens auf die Vertheilung der Pflanzen* (*Sitzungsber. der kaiserl. Akad. der Wissensch., math.-naturwissensch. Classe*, t. XX, 1856 ; t. XXV, 1857). Toujours partisan de l'influence chimique qu'il développe et démontre longuement.

86 1857 C Rœthe. — *Aschenanalyse von den Früchten der* Alnus glutinosa *Gärtn.* (X. *Bericht des naturh. Vereins in Augsburg*, 1857).

87 A. Boreau. — *Flore du Centre de la France et du bassin de la Loire* (3e édit., 1857). Partisan de l'influence chimique du sol.

88 Georges Ville.— *Recherches expérimentales sur la végétation* (1 vol.). Vient à l'appui de la théorie chimique en étudiant l'action de divers sels sur les plantes.

89 1858 Heinrich Hanstein.—*Lassen sich nach der geognostischen oder chemischen Verschiedenheit des Bodens Pflanzeneintheitungen von mehl als localer Bedeutung begründet?* (*Flora*, 1858). Discute à la fois la théorie chimique et la théorie physique.

90 H. Hanstein.— *Ueber die Bodenstetheit der Pflanzen* (*Flora*, 1858).

91 Dr J.-R. Lorenz. — *Allgemeine Resultate aus den Pflanzengeographischen und genetischen Untersuchung der Moore im präalpinen Hügellande Salzburg's* (*Flora*, 1858).

92 Malaguti et Durocher. — *Recherches sur la répartition des éléments inorganiques dans les principales familles du règne végétal* (*Ann. de chimie*

et de physique, III^e^ série, t. LIV, 1858; et *Ann. sc. nat., bot.*, IV^e^ série, t. IX). Partisans de l'influence chimique du sol.

93 1858 PARISOT. — *Note sur la flore des environs de Belfort* (*Mém. Soc. émul. du Doubs*, III^e^ série, Besançon, 1858). Conclut à la prépondérance de l'influence chimique du sol.

94 D^r^ ALOÏS POKORNY. — *Nachricht über die Moosbrunner, Torfmoore nächst Wien* (*Verhandl. der kais. konigl. zool.-bot. Gesellsch. in Wien*, 1858).

95 D^r^ T. PUEL. — *Études sur les divisions géographiques de la Flore française* (*Bull. Soc. bot. de France*, 1858-59). Admet l'influence chimique et minéralogique du sol.

96 H. TRAUTSCHOLD. — *Bemerkungen und Versuche zur Frage über den Einfluss des Bodens auf die Pflanzen* (*Bull. Soc. impériale des naturalistes de Moscou*, 1858). Conserve, dans ses opinions mixtes, une part à l'influence chimique.

97 PARISOT. — *Compte rendu d'une herborisation au Kaiserstuhl* (*Bull. Soc. bot. de France*, 1858, t. V, session extraordinaire à Strasbourg).

98 1859 CH. DES MOULINS.— *Comparaison des départements de la Gironde et de la Dordogne sous le rapport de leur végétation spontanée et de leurs cultures* (*Acad. des sc., belles-lettres et arts de Bordeaux*).

99 D^r^ GODRON. — *De l'espèce et des races dans les êtres organisés de la période géologique actuelle* (2 vol., Paris, 1859). Convaincu de la réalité de l'influence chimique, même pour les plantes aquatiques.

100 BOUSSINGAULT. — *De la terre végétale considérée dans ses effets sur la végétation* (*Ann. sc. nat.*

bot., 4e série, t. XII, 1859). Ne se prononce pas nettement.

101 1859 HANSTEIN. — *Verbreitung und Wachsthum der Pflanzen in ihren Verhältnisse zum Boden auf Grundlage einer Betrachtung der Vegetation zwischen Rhein, Main und Neckar für Botaniker, Landwirte, Cameralisten und Forstleute* (Darmstadt, 1859).

102 LE JOLIS. — *Lichens des environs de Cherbourg* (*Mém. Soc. impér. des sc. nat. de Cherbourg*, t. VII, 1859). Partisan de l'influence chimique.

103 M.-J. MORIÈRE. — *Considérations générales sur l'espèce. — Influence du climat, du sol, de la culture et de l'hybridité sur les plantes. — Étude spéciale du sol végétal* (Thèse de la Faculté des Sciences de Lyon, 1859). Partisan de la théorie chimique.

104 1860 GARREAU. — *Nouvelles recherches sur la distribution des matières minérales fixes dans les divers organes des plantes* (*C. R. Acad. des sc.*, t. L, 1860).

105 Dr HERMANN HOFFMANN. — *Vergleichende Studien zur Lehre von der Bodenstetigkeit der Pflanzen* (*Achter Bericht der Oberhessischen Gesellsch. für natur. und Heilkunde*, Giessen, 1860). Abandonna, à la suite de ses recherches, la théorie de l'influence physique qu'il avait professée jusqu'alors, pour admettre l'influence chimique.

106 AUG. LE JOLIS. — *Plantes vasculaires des environs de Cherbourg* (*Mém. Soc. impér. des sc. nat. de Cherbourg*, t. VIII, 1860).

107 LUDWIG RITTER VON HEUFLER. — *Untersuchungen über die Hypneen Tirol's* (*Verhandl. der kais. konigl. zool.-bot. Gesellsch. in Wien*, t. X, 1860).

108 1860 W. Ph. Schimper. — *Synopsis Muscorum europæorum præmissa introductione de elementis bryologicis tractante* (Stuttgariæ, 1860). Partisan de l'influence chimique.

109 Otto Sendtner. — *Die Vegetations-Verhältnisse des bayerischen Waldes nach den Grundsätzen der Pflanzengeographie* (München, 1860). Partisan de l'influence chimique.

110 1861 Adolphe Gubler. — *De la mer considérée comme source de calcaire pour les plantes du littoral* (*Bull. Soc. bot. de France*, t. VIII, 1861). Partisan de l'influence chimique.

111 August von Krempelhuber. — *Die Lichenen Flora Bayerns* (*Denkschr. der k. bayer. botan. Gesellsch. zu Regensburg*, t. IV, 2e partie, 1861). Classe les Lichens selon leur habitat minéralogique (1).

112 Auguste Le jolis. — *De l'influence chimique des terrains sur la dispersion des plantes* (*Mém. Soc. sc. nat. de Cherbourg*, t. VIII, 1861 ; 2e édit. augmentée, Paris et Cherbourg, 1861). Partisan de la théorie de l'influence chimique; expose l'historique des théories émises sur l'influence du sol, en y ajoutant ses observations personnelles.

113 T. Letourneux. — *Sur la distribution géographique des plantes de la Vendée et des régions voisines* (*Bull. Soc. botan. de France*, t. VIII, 1861). Partisan de l'influence chimique.

114 Em. Planchon. — *Compte rendu de la 15e session de la Soc. helvétique des sc. naturelles* (Lausanne, 1861).

---

(1) Voir la remarque à la fin de la revue historique.

115 1861 Dr A. Pokorny. — *Untersuchungen über die Torfmoore Ungarns* (*Sitzungsb. der kais. Akad. der Wissench.*, mathem.-naturw. Classe, t. XLII, Wien, 1861).

116 1862 Godron. — *Essai sur la géographie botanique de la Lorraine* (*Mém. Acad. de Stanislas*, 1861, et Nancy, 1862). Partisan déclaré de la théorie chimique.

117 Rocher. — *Action de quelques composés du règne minéral sur les végétaux* (1862).

118 Adrien de Jussieu. — *Cours élémentaire d'histoire naturelle, Botanique* (Paris, 1862, et autres édit.). De Jussieu conclut que la composition du sol agit surtout en modifiant ses propriétés physiques; il accorde toutefois une influence au sel marin, mais très peu au calcaire ou à la silice.

119 1863 Godron. — *Une promenade botanique aux environs de Benfeld* (*Mém. Acad. de Stanislas*, Nancy, 1863).

120 J. Juratzka. — *Ueber das sporadische Vorkommen sogenannter Schieferpflanzen in Kalkgebirge und ins besondere über die Auffindung zweier für die oberosterreichische Flora neuer sonst nur im Schiefergebirge beobachteten Gewächse im Bereiche des Dachsteingebirges* (*Verhandl. der kais. konigl. zool.-bot. Gesellsch. in Wien*, t. XIII, 1863).

121 A. Kerner. — *Ueber die sporadische Vorkommen sogenannter Schieferpflanzen in Kalkgebirge* (1863, Verh. d. K. K. Zool. Bot. Ges. in Wien, Bd. XIII).

122 A. Kerner. — *Die Pflanzen der Donaülander* (Innsbruck, 1863).

123 Fr. W. Schultz. — *Grundzüge zur Phytostatik*

der Pfalz (1863, *Jahresber. der Pollichia*, XX-XXI). Nombreuses indications géognostiques.

124 1864 A. KERNER. — *Die Kultur der Alpenpflanzen* (1864, Innsbruck).

125 E. MICHALET. — *Histoire naturelle du Jura et des départements voisins*, par le frère Ogérien (t. II, Botanique, Paris, 1864). Paraît partisan de la théorie de l'influence chimique.

126 VICTOR DE MARTIN-DONOS. — *Florule du Tarn, ou énumération des plantes*, etc. (Paris, 1864). Ne formule aucune conviction précise, mais indique les préférences minéralogiques de chaque espèce.

127 1865 H. HOFFMANN. — *Untersuchungen zur Klima und Bodenkunde mit Rücksicht auf die Vegetation* (*Botanische Zeitung*, 1865, Beibl.).

128 MOLENDO. — *Moos-Studien aus dem Algauer Alpen* (Leipzig, 1865).

129 WIRTGEN. — *Ueber die Vegetation des hohen und des vulcanischen Eifel* (*Verhandl. des naturh. Vereins d. Preuss. Rheinlande*, t. XXII, Bonn, 1865). Admet l'influence chimique et minéralogique du sol.

130 CHARLES MARTINS. — *Du Spitzberg au Sahara* (Paris, 1865-1866). Partisan de la prépondérance de l'influence du climat et des propriétés physiques du sol ; l'influence chimique, pour lui, n'est qu'accessoire et locale, sauf en ce qui concerne les plantes maritimes.

131 OTTO SENDTNER.— *Die Veget.-Verhältnisse d. bayr. Waldes, nach d. Grundsätzen d. Pflanzengeogr. geschildert. Vollendet v. Gümbel u. Radlkofer* (Munchen, 1860-1865).

132 NÆGELI. — *Sitzungsberichte der k. bayer* (*Akad, d. Wiss.*, 1865). Nægeli considère la lutte pour

l'existence, ou concurrence vitale, comme primant de beaucoup l'influence de la nature physique ou chimique du sol. Pour lui, deux espèces peuvent être étroitement liées ensemble à la nature du sol, mais si l'une d'elles manque, l'autre se montre indifféremment sur l'un ou l'autre terrain.

133 1866 L'abbé Boulay. — *Notice sur la géographie botanique des environs de Saint-Dié* (Vosges) (Extr. du *Billotia*, Besançon, 1866). Partisan de l'influence chimique.

134 E. Ravin. — *Flore de l'Yonne* (Auxerre, 1866). Penche pour la théorie chimique et classe les plantes en régions géologiques.

135 1867 Th. Caruel. — *Sur la flore des Gabres de Toscane* (*Congrès international de botanique de 1867*, Paris).

136 J.-E. Planchon. — (*Congrès internat. de botan.*). Soutient la théorie chimique, mais subordonnée au climat.

137 Gubler, Personnat, Dumortier, Laisné, soutiennent (*ibid.*) la théorie chimique.

138 De Galesnow. — Croit surtout à l'influence des propriétés physiques, et notamment de l'humidité (*ibid.*).

139 L. Crié. — *De la station de quelques plantes dans le département de la Sarthe* (*Congrès internat. de bot.*, 1867). Partisan de l'influence chimique.

140 1868 Grenier. — *Discours prononcé à la rentrée solennelle des Facultés de Besançon* (Besançon, 1868. Inséré aussi dans la préface de sa *Flore Jurassique*). Partisan de l'influence chimique.

141 A. Neilreich. — *Vegetations-Verhältnisse v. Croatien* (Wien, 1868).

142 1869 A. Kerner. — *Abhängigkeit der Pflanzengestalt von Klima und Boden* (Innsbruck, 1869).

143 A. Pérard. — *Catalogue raisonné des plantes croissant naturellement ou soumises à la grande culture dans l'arrondissement de Montluçon* (*Bull. Soc. bot. de France*, t. XVI, XVII et XVIII, Paris, 1869-1871, et tir. à part). Paraît admettre l'influence chimique.

144 C. Rœthe. — *Ueber das Vorkommen der* Herniaria glabra *auf Dolomitsand* (*Bericht des naturh. Vereins in Augsburg*, 1869; analysé dans le *Bot. Zeit*, 1872).

145 1870 H. Hoffmann. — *Ueber Verunkrautung* (*Landwirthschaftliches Wochenblatt des Ackerbau-ministeriums in Wien*, janvier, 1870).

146 H. Hoffmann. — *Ueber Kalk und Salzpflanzen* (*Landwirth. Versuchs-Stationem* de M. le prof. Nobbe, t. XIII, 1870).

147 Ad. Chatin. — *Le Châtaignier. Étude sur les terrains qui conviennent à sa culture* (*Bull. Soc. bot. de France*, t. XVII, 1870). Partisan de l'influence chimique.

148 Scipion Gras. — *Traité élémentaire de géologie agronomique* (1870).

149 Meyer. — *Lehrbuch der Agriculturchemie*, 1870-71.

150 J. Raulin. — *Études chimiques sur la végétation* (1870, *Ann. des sc. nat. bot.*). Ses recherches ont démontré que les Champignons-Moisissures sont sensibles, comme les plantes supérieures, à la composition chimique du substratum.

151 1871 Abbé Boulay. — *De la distribution géographique des Mousses dans les Vosges et dans le Jura* (*Bull. Soc. bot. de France*, t. XVIII, 1871).

152 1872 STEUZEL. — *Ub. d. Riesengebirge als Veget.-Grenze* (Breslau, 1872).

153 SCIPION GRAS. — *Note sur la Géologie agronomique* (*Bull. Soc. géolog. de France*, 2e série, 1872).

154 SAUTER. — *Flora des Herzogthumes* (Salzburg, 1866-1872). Nombreuses indications concernant l'influence chimique du substratum sur la distribution des Phanérogames et des Cryptogames.

155 ABBÉ BOULAY. — *Flore cryptogamique de l'Est, Muscinées* (Paris, St-Dié, Nimes, 1872). Proclame et démontre l'influence chimique du sol.

156 1873 P. FLICHE et L. GRANDEAU. — *De l'influence de la composition chimique du sol sur la végétation du Pin maritime et du Châtaignier* (*Ann. de chimie et de physique*, IVe série, t. XXIX, 1873 ; Ve série, t. II, 1874).

157 A. LEGRAND. — *Statistique botanique du Forez* (St-Etienne, 1873).

158 MOREAU. — *Carte botanique de l'Yonne* (1873). Admet l'influence chimique.

159 F. RENAULD. — *Aperçu phytostatique sur le département de la Haute-Saône, suivi d'un catalogue des plantes vasculaires et des Mousses* (Paris, 1873, et *Bull. Soc. agr. sc. et arts de la Haute-Saône*). Partisan de la théorie chimique.

160 WEDDELL. — *Les Lichens du massif granitique de Ligugé* (*Bull. Soc. bot. de France*, t. XX, 1873). Partisan de la théorie chimique ; classe les Lichens en : 1° *Silicicoles ;* 2° *Silicicoles calcifuges ;* 3° *Calcivores ;* 4° *Calcicoles ;* 5° *Omnicoles.*

161 WEDDELL. — *Sur le rôle du substratum dans la*

distribution des Lichens saxicoles (*C. R. Acad. Sc.*, t. LXXVI, 1873).

162 1873 Chanoine Besse et Godet. — *Sur les rapports intimes de la botanique et de la minéralogie* (*Bull. Soc. Murithienne du Valais*, t. II, 1873).

163 1874 Julius Sachs. — *Traité de botanique*, trad. sur la 3e édit. allemande par Ph. Van Tieghem. Comme Nægeli, Sachs subordonne l'influence chimique à la concurrence vitale et aux conditions physiques.

164 F. Renauld. — *Notice sur quelques faits de dispersion des Mousses dans la Haute-Saône* (*Revue bryologique* de M. Husnot, 1874, etc.).

165 L. Debat.— *Flore des Muscinées*: *Mousses*, *Sphaignes*, *Hépatiques de France* (Lyon, 1874, et *Ann. Soc. bot. de Lyon*). Indique le substratum minéralogique des espèces décrites.

166 Ch. Contejean. — *De l'influence du terrain sur la végétation* (*Ann. sc. nat. bot.*, Ve série, t. XX, 1874; 2e mémoire, VIe série, t. II, 1875). Après avoir été fervent disciple de Thurmann, Contejean devient son adversaire et adopte pleinement la théorie de l'influence chimique (1).

167 1875 Weddell. — *Remarques sur le rôle du substratum dans la distribution des Lichens saxicoles* (*Ann. des sc. nat. bot.*, VIe série, t, I, 1875).

168 Ch. Contejean. — *Sur une revendication de priorité relative à un fait de géographie botanique* (C. R. Ac. Sc., 1875).

169 Grenier. — *Flore Jurassique* (Paris, 1865-1875). Partisan de l'influence chimique.

---

(1) Ces deux mémoires, très importants et très documentés, seront discutés plus loin. Je ne fais ici que les signaler.

170 1875 L. Quélet. — Partisan de l'influence chimique, qu'il admet même pour certains Champignons (Lettre du 24 septembre 1875, adressée à M. Contejean).

171 J. Bœhm. — *Ueber den vegetabilischen nährwerth der Kalksalze* (*Sitzbr. d. k. Akad. d. Wissensch.*, 1875; *C. R. in Ann. agronom.*, t. I).

172 Weddell. — *Les substratum neutres* (*C. R. Acad. Sc.*, 1875).

173 Weddell. — *Remarques complémentaires sur le rôle du substratum dans la distribution des Lichens saxicoles* (*C. R. Acad. Sc.*, 1875).

174 Dr Ant. Magnin. — *Note sur la végétation du rebord méridional du Plateau de la Dombes* (*Ann. Soc. bot. de Lyon*, 4e année, 1875-76). Partisan de l'influence chimique.

175 Lamy. — *Mousses et Hépatiques du département de la Haute-Vienne* (Paris, 1875).

176 1876 Contejean. — *Sur la Flore des grès de Fontainebleau* (*C. R. Acad. Sc.*, 1876).

177 Fliche. — *De la végétation des tourbières dans les environs de Troyes* (Nancy, 1876). Partisan de l'influence chimique.

178 Fliche. — *Du sol dans les environs de Fontainebleau et de ses relations avec la végétation* (*Mém. Soc. des sc. de Nancy*, 1876).

179 P. Fliche et L. Grandeau. — *Recherches chimiques sur la composition des feuilles d'âge et d'espèce différents* (*Ann. de chim. et de phys.*, Ve série, t. VIII, 1876).

180 James Lloyd. — *Flore de l'Ouest de la France* (3e édit., Paris, 1876). Partisan de l'influence chimique.

181 1876 Venance Payot. — *Ann. Soc. bot. de Lyon*, t. IV, 1875-76). Partisan de l'influence chimique.

182 Viviand-Morel.— *Observations sur quelques plantes croissant spontanément sur les plâtras de l'usine Coignet* (*Ann. Soc. bot. de Lyon*, t. IV, 1876).

183 Dr Saint-Lager. — *De l'influence chimique du sol sur les plantes* (*Ann. Soc. bot. de Lyon*, t. V, 1876-1877). Partisan déclaré de la théorie de l'influence chimique. Attribue non seulement à la répulsion pour le calcaire, mais aussi à l'appétence pour la potasse, les préférences des silicicoles. Il accorde aussi une grande importance chimique au chlorure de sodium des sources salées.

184 1877 Abbé Boulay. — *Études sur la distribution géographique des Mousses en France au point de vue des principes et des faits* (Paris, 1877). Réfute la théorie exclusive de l'influence physique et démontre longuement l'influence chimique. Croit plutôt aux silicicoles qu'aux calcifuges.

185 Léonard. — *De la terre végétale* (Thèse de Montpellier, 1877).

186 Dr Ant. Bras.— *Catalogue des plantes vasculaires du département de l'Aveyron* (Villefranche, 1877). Indique l'habitat minéralogique des espèces.

187 P. Fliche et L. Grandeau. — *Recherches chimiques sur la composition des feuilles du Pin noir d'Autriche* (*Ann. de chimie et de physique*, Ve série, 1877).

188 Dr Ant. Magnin. — *Étude sur les Lichens des vallées de l'Ubaye et de l'Ubayette* (*Ann. Soc. bot. de Lyon*, t. IV, 1876, p. 115; tirage à part,

1877). Ce mémoire contient, entre autres, de nouveaux faits à l'appui de la doctrine de l'influence chimique, etc.

189 1877 F. Stenfort. — *Les plus belles plantes de la mer ; description des Algues* (Paris, 1877). Admet que la nature des roches paraît exercer une influence sur les Algues comme point d'attache et comme élément de nutrition.

190 Th. Fuchs. — *D. Mediterranflora in Abhängigkeit von d. Bodenunterlage ; die Salze v. Sassuolo u. die Argille scagliose* (1877).

191 Dr Saint-Lager. — *Note sur la géographie botanique de la Bresse et de la Limagne d'Auvergne* (*Ann. Soc. bot. de Lyon*, t. VI, 1877-78). Démontre l'évidence de l'influence chimique dans ces deux régions.

192 Dr Ant. Magnin. — *Note sur la végétation du rebord méridional de la Dombes* (*Ann. Soc. bot. de Lyon*, t. IV, 1876, p. 162). L'auteur explique pour la première fois les différences de végétation présentées par les différentes couches géologiques qui s'étagent sur le flanc de ce coteau.

193 Dr Ant. Magnin.— *Sur les plantes silicicoles observées en divers points de la côtière méridionale de la Dombes, explication de leur présence*, etc. (*id.*, p. 177).

194 1878 Abbé Boulay. — *Revision de la flore des départements du Nord de la France* (Paris, 1878, 1879, 1880).

195 A. Chatin, Malinvaud, Cornu. — (*Bull. Soc. bot. de France*, 1878). Croient à la prépondérance de l'influence chimique.

196 Duchartre. — (*id.*). Paraît être de l'opinion opposée.

197 1878 Alph. de Candolle. — *Lettre à M. Caruel, servant d'introduction au mémoire de Mgr de Haynald sur les stations du Châtaignier* (*Nuovo giornale bot. ital.*, t. X, Piso, 1878).

198 Ch. Contejean. — *Origine et répartition du calcaire dans les sables maritimes* (C. R. Acad. Sc., 1878).

199 Ch. Contejean. — *La soude dans le sol et les végétaux* (C. R. Acad. Sc., 1878).

200 Ch. Contejean. — *Note sur la flore calcifuge de l'Alb de Wurtemberg* (C. R. Acad. Sc., 1878).

201 Ph. David, J. Foucaud et F. Vincent. — *Catalogue des plantes... de la Charente-Inférieure, pour servir à l'étude de la Carte botanique* (La Rochelle, 1878). Partisans de l'influence chimique.

202 P. Fliche et L. Grandeau. — *Rech. chimiques sur la végétation forestière* (*Ann. de la Station agronom. de l'Est*, Paris. 1878). Pensent que certains végétaux fuient le calcaire sans rechercher la silice.

203 Dr Ludovicus Haynald. — *De distributione geographica Castaneæ in Hungaria* (*Nuovo giorn. bot. ital.*, 1878, t. X). Admet la prépondérance de la constitution physique du sol.

204 Louis Vialla. — *Des vignes américaines et des terrains qui leur conviennent* (*Messager agricole*, 1878).

205 Grisebach. — *La végétation du globe d'après sa disposition suivant les climats; esquisse d'une géographie comparée des plantes* (Traduit et annoté par P. Tchihatcheff, 1878). La constitution du sol n'a, d'après lui, qu'une action très secondaire par rapport au climat.

206 1878 Aug. Crié. — *Flore comparée des terrains siliceux et calcaires de Sillé-le-Guillaume et de Conlie* (*Bull. Soc. d'agric. sc. et arts de la Sarthe*, 1878).

207 P.-P. Dehérain. — *Sur l'assimilation des substances minérales par les plantes* (*Ann. sc. nat. bot.*, 6e sér., t. VI, 1878; et 5e sér., t. VIII, 1867).

208 Dr Ant. Magnin. — *Observations sur la géographie botanique de la Bresse et en particulier sur la flore de l'étang Genoud* (*Bull. Soc. bot. Lyon*, t. VI).

209 Dr Ant. Magnin. — *Excursions cryptogamiques à Oullins, Sathonay et au Mont-d'Or ; localités nouvelles pour des Mousses et des Lichens calcicoles* (*id.*, p. 136).

210 1879 Gaston Bonnier. — *Quelques observations sur les relations entre la distribution des phanérogames et la nature chimique du sol* (*Bull. Soc. bot. de France*, t. XXVI, 1879).

211 R. Braungart. — *Geobotanisch-landwirthschaftliche Wanderungen in Böhmen* (*Jahrbuch für osterreichische Landwirthe*, 1879). Excursions de géographie botanique et d'agriculture en Bohême.

212 F. Renauld (V. 1874). — *Revue bryologique.*

213 D. Cauvet. — *Cours élémentaire de botanique* (Paris, 1879). Partisan de l'influence des propriétés physiques et du climat.

214 Ch. Contejean. — *Pourquoi l'on rencontre quelquefois des plantes du calcaire associées à celles de la silice* (C. R. Acad. Sc., 1879).

215 P. Fliche et L. Grandeau. — *Rech. chimiques sur les Papilionacées ligneuses* (Ann. de chimie et de physique, Ve s., t. XVIII, 1879).

216 1879 Guinier. — *Note sur les stations du Pin sylvestre* (*Bull. Soc. bot. de France*, 1879). Partisan de la théorie physique.

217 Dr Antoine Magnin. — *Recherches sur la géographie botanique du Lyonnais* (1er fascicule, *Bas-Plateaux Lyonnais* ; *Côtière méridionale de la Dombes*, Paris, 1879, 2 cartes). Partisan de la théorie chimique qu'il développe et démontre avec exemples nombreux à l'appui.

218 Anton. Sauter. — *Flora der Gefässpflanzen der Herzogthums Salzburg* (Salzburg, 1879). Consigne l'habitat minéralogique des plantes, sans donner d'opinion sur la théorie.

219 Farsky.— *Resultate zweijähr. Vegetations-Versuche in künstl. Nährstoff-Losungen u. im natürl. Boden* (Prague, 1879).

220 H. Pellet. — *Études nouvelles sur la composition des végétaux* (*Ann. agron* , t. V.).

221 J.-E. Planchon.— *La végétation de Montpellier et des Cévennes dans ses rapports avec la nature du sol* (*Bull. Soc. languedocienne de géographie*, Montpellier, 1879).

222 1880 Reynier. — (*Bull. Soc. bot. et horticul. de Provence*, IIe année, 1880, p. 205).

223 A. Jeanjean. — *Utilité de la Géologie agricole* (*Bull. Soc. d'ét. des sc. natur. de Nimes*, N° 12, 1880).

224 B. Chauzit. — *Recherches chimiques sur quelques terrains où l'on a planté la vigne américaine* (*Messager agricole*, 1880).

225 Rames. — *Généralités sur certaines relations de la flore du Cantal avec la topographie et la géologie de ce département* (*Bull. Soc. bot. de France*, 2e série, t. II, 1880). Partisan de l'influence chimique du sol.

226 1880 Dr Ant. Magnin.— *La Flore méridionale du Lyonnais* (*Lyon scientifique*, N° 11, février 1880, p. 366).

227 Dr Ant. Magnin. — *Excursion botanique dans les Monts du Lyonnais* (*Bull. Soc. bot. Lyon*, t. VIII, 1880, p. 137). L'auteur explique la présence du Buis dans les sols siliceux, etc.

228 1881 G. Bonnier. — *Quelques observations sur la Flore alpine d'Europe* (*Ann. sc. nat.*, VIe série, t. X, 1881). Subordonne l'influence du sol à la lutte pour l'existence.

229 Edouard Bureau. — *La géologie des environs de Fontainebleau au point de vue de la géographie botanique* (*Bull. Soc. bot. de France*, t. XXVIII, 1881).

230 Audoynaud.— *Adaptation au sol des cépages américains* (*Journ. d'agricult. prat.*, 1881, t. II).

231 Boitel.— *Les prairies de la Saône* (*Ann. agronom.*, t. VII, 1881). Partisan de l'influence chimique du sol et notamment du calcaire sur les plantes et les animaux.

232 Martial Lamotte. — *Prodrome du Plateau Central* (*Mém. Acad. de Clermont-Ferrand*, 1877-1881).

233 H. de Liebenberg. — *Untersuchungen über die Rolle des Kalkes bei der Keinung der Samen* (*Sitzungber. der Kais. Akad. der Wissensch.*, math.-naturw. Cl., t. LXXXIV, 1881).

234 Ch. Contejean.— *Géographie botanique*; *influence du terrain sur la végétation* (Paris, 1881). Reproduction revue de son travail de 1874.

235 Delesse. — *De l'influence du sol sur la composition des cendres des végétaux* (*Soc. d'agricult. de France*, 1881). Paraît partisan de l'influence chimique.

236 1881 Dr Eug. Fournier. — *La réunion de la Soc. botan. de France à Fontainebleau* (*Revue des Deux-Mondes*, t. XLVI, 1881). Partisan de la théorie chimique.

237 Louis Olivier. — *Rapport sur l'excursion d'Arbonne* (*Bull. Soc. bot. de France*, 1881). Admet l'influence chimique du sol.

238 Joseph Vallot. — *Rapport sur la course au Mail Henri IV et sur la distribution géographique des plantes aux environs de Fontainebleau* (*Bull. Soc. bot. de France*, 1881).

239 Millardet. — *Note sur les vignes américaines; de l'adaptation au sol et au climat* (*Journ. d'agricult. prat.*, 1881, t. I).

240 Dr Ant. Magnin. — *Herborisation à Saint-Bonnet-sur-Montmelas : géologie; Lichens; présence du Buis dans les terrains siliceux*, etc. (*Bull. Soc. bot. Lyon*, 15 mars 1881).

241 Dr Ant. Magnin. — *Observations sur des plantes calcicoles dans le Nord, indifférentes dans le Midi de la France; causes de cette particularité* (*id.*, 7 juin 1881).

242 Dr Ant. Magnin. — *Fragments lichénologiques.*— Fascicule II : *Distribution géographique de quelques Lichens calcicoles dans le Lyonnais*, etc. (*Ann. Soc. bot. Lyon*, 1881 ; tir. à part, 1883).

243 1882 Boitel. — *Les prairies et les plantes de la Suisse et de l'Est de la France* (*Ann. agronom.*, t. VII, 1882).

244 Dr Saint-Lager. — *Catalogue de la Flore du Bassin du Rhône* (*Ann. de la Soc. bot. de Lyon*, en VII parties, de 1872 à 1882). L'auteur indique avec soin les exigences ou préférences géiques des principales espèces. Ouvrage fondamental

pour la flore de tout le bassin du Rhône et du Dauphiné.

245 1882 Ch. Aigret. — *Note complémentaire sur l'*Helianthemum fumana (*Bull. Soc. roy. de botan. de Belgique*, 1882). Partisan de l'influence chimique du sol.

246 Clavaud. — *Flore de la Gironde* (1er fascic., Paris et Bordeaux, 1882). Mentionne les plantes calcicoles.

247 Venance Payot. — *Guide du botaniste et du touriste dans les Alpes pennines* (Paris, 1882). Mentionne l'habitat minéralogique des plantes des environs du Mont-Blanc.

248 Dr Ant. Magnin. — *Herborisation dans le Haut-Beaujolais, à la montagne de Chiroubles ; Lichens, présence du Buis dans les sols siliceux*, etc. (*Bull. Soc. botan. Lyon*, 28 mars 1882).

249 Dr Ant. Magnin. — *Herborisation à Saint-Genis-d'Aoste*, etc. ; *Flore du Mont-du-Chat* (*Bull. Soc. botan. Lyon*, 20 juin 1882).

250 1883 F. Renauld (V. 1874). — *Revue bryologique.*

251 J. Vallot. — *Recherches physico-chimiques sur la terre végétale et ses rapports avec la distribution géographique des plantes* (Paris, 1883). Dans cet important ouvrage, Vallot, partisan de la doctrine chimique, donne un historique de la question, puis expose ses observations personnelles dans divers terrains. Il montre en particulier des plantes très sensibles à la composition chimique du sol, mais indifférentes à sa constitution physique.

252 Ch. Goetting. — *Boden und Pflanzen* (Giessen, 1883).

253 Dr H. Christ. — *La Flore de la Suisse et ses ori-*

gines (Bâle, 1883). Envisage surtout l'influence du climat en géographie botanique.

254 1883 J. Vallot. — *Note sur une station de l'Asplenium septentrionale sur le quartzite de Lodève* (*Bull. Soc. bot. de France*, 1883).

255 H.-C. Watson. — *Topographical Botany* (1883).

256 P.-P. Dehérain et L. Bréal. — *Rech. sur l'influence des matières minérales dans la germination* (*Ann. agronom.*, t. IX, 1883). Montrent, après Bœhm, l'importance des sels de chaux en particulier.

257 Von Liebenberg. — *Rech. sur le rôle de la chaux pendant la germination* (*Ann. agronom.*, t. IX, 1883).

258 A. Pétermann. — *Analyse de la Bruyère, de la Fougère et du Genêt* (*Ann. agronom.*, t. IX, 1883).

259 Dr Ant. Magnin. — *Les Gyrophores de la région lyonnaise* (*Bull. Soc. bot. de Lyon*, 1883).

260 Dr Ant. Magnin. — *Statistique botanique du département de l'Ain ;* 1re partie : *Précis d'une géographie botanique du département* (Publié par la *Société de géographie de l'Ain*) (1 vol., Bourg, 1883).

261 Dr Ant. Magnin. — *Coup d'œil sur la géologie et la végétation du bassin de Belley* (*Bull. Soc. bot. de Lyon*, 29 mai 1883, t. XI, p. 76).

262 1884 Dr Ant. Magnin. — *Sur les contrastes en petit présentés par la végétation lichénique des poudingues des alluvions glaciaires des env. de Lyon* (1884).

263 Abbé Boulay. — *Muscinées de la France* ; 1re partie : *Mousses* (1884). Nombreuses indications concernant l'influence chimique.

264 Abbé Boulay. — (*Bull. Soc. botan. de France*,

session de Charleville, 1884, p. XLVI, XLVII, XCIX et C). Observations intéressantes sur l'influence chimique du sol.

265 1884 Malinvaud *(ibid.)*. — Observations sur le même sujet.

266 Buhrer. — *Rech. sur l'action nuisible du sel commun sur les plantes supérieures et inférieures* (Thèse, Zurich, 1884) (1).

267 1885 Duchartre. — *Éléments de botanique* (3e édit.). Il admet l'influence chimique du sol pour certaines plantes, mais il accorde beaucoup d'importance aux autres influences (propriétés physiques, climat, lutte pour l'existence, etc.)

268 A. Franchet. — *Flore de Loir-et-Cher* (Blois, 1885). Nombreuses indications géognostiques.

269 J. Vesque. — *Traité de botanique agricole et industrielle.*

270 Krasan. — *Ueb d. geotherm. Verhältnisse d. Bodens u. deren Einfluss auf d. geogr. Verbr. d Pflanzen.* Nebst «ergänz. Bemerkgn» (1883-1885).

271 Knop. — *Sur l'absorption par la plante de différentes substances qui ne sont pas des aliments* (*Bot. centralbl.*, t. XXII). C. R. *in Ann. agronom.*, t. XI).

272 Dr Ant. Magnin. — *Quelques mots sur la géographie botanique du Lyonnais et présentation de*

---

(1) Nous avons à dessein omis la littérature relative à l'action chimique de chaque sel de chaux, soude, potasse, magnésie, fer, etc., en particulier. Nous avons seulement, à titre d'indication, intercalé les principaux de ces travaux, tels que ceux de Dehérain, Bréal, Liebenberg, G. Ville, Bührer, Lesage, Dassonville. Nous avons procédé de même relativement à la question des cendres des végétaux.

sept cartes inédites de phytostatique (*A. F. A. S.*, session de Grenoble, 13 août 1885, p. 135).

273 1885 Dr Ant. Magnin. — *Remarques sur le mémoire de Mouton-Fontenille*, etc. (*A. F. A. S.*, Grenoble, 1885, 14 août).

274 1886 Cazeaux-Cazalet. — *Rapports des vignes américaines avec le sol* (Divers, *in Bull. du Comice de Cadillac*, Gironde, de 1886 à 1891).

275 J. Lloyd et Foucaud. — *Flore de l'Ouest de la France* (1886, La Rochelle).

276 X. — *Du chaulage* (*Lyon horticole*, 1886, p. 448).

277 Dr L. Perroud. — *Herborisations en plusieurs parties de la France et de la Suisse*, de 1875 à 1886 (*Ann. Soc. bot. de Lyon*, t. IV à XIV). L'auteur signale les contrastes entre la végétation des roches calcaires et siliceuses.

278 A. Chargueraud. — *Rôle et influence des terres sur les végétaux ligneux cultivés*, avec tableau des arbres à planter selon la nature minérale et l'état d'humidité des sols (*Journ. de la Soc. nat. d'hortic.*, 1886).

279 Dr Ant. Magnin. — *La végétation de la région lyonnaise et de la partie moyenne du Bassin du Rhône*, ou description topographique, géologique et botanique des régions du Lyonnais, du Beaujolais, de la Dombes et du Bas-Dauphiné ; caractères de leurs flores étudiées dans leurs rapports avec le climat et la nature du sol, et comparées avec celles des régions voisines du Forez, de la Bresse, du Jura méridional et des Terres-Froides. Ouvrage contenant 7 cartes (1 vol., 515 p.; Georg, édit., Bâle-Lyon-Genève, 1886).

Dans ce magistral ouvrage, M. le professeur Magnin développe toutes les questions de géo-

graphie botanique et particulièrement la théorie de l'influence chimique, dont il est partisan et qu'il démontre par de très nombreux exemples.

280 1886 Dr Ant. Magnin.— *Note sur la présence des plantes réputées calcifuges dans les chaînes calcaires du Jura* (*C. R. Acad. Sc.*, 20 décembre 1886). L'auteur montre que tous les faits anormaux constatés sont dus à des modifications locales de la composition chimique du sol.

281 1887 Bouscasse. — *La chaux et ses effets multiples dans le sol* (*Jour. d'agricult. prat.*, 1887).

282 A. Jeanjean. — *La Géologie appliquée à la culture de la Vigne dans le département du Gard* (Montpellier, 1887).

283 J. Ivolas. — *Plantes calcicoles et calcifuges de l'Aveyron* (1887). Partisan de l'influence chimique.

284 Dr Ant. Magnin. — *Sur la végétation calcicole des gneiss et des schistes métamorphiques du Lyonnais et de la vallée du Rhône* (*A. F. A. S.*, Toulouse, 1887).

285 Dr Ant. Magnin. — *Énumération des plantes qui croissent dans le Beaujolais*, etc. (1887). Donne les préférences géiques des principales espèces.

286 A. Legrand. — *Flore du Berry* (Bourges, 1887).

287 Joseph Vallot. — *Influence chimique du sol sur la végétation des sommets des Alpes* (*Bull. Soc. botan. de France*, 1887).

288 Drude. — *Ueber die Standortverhältnisse von* Carex humilis *bei Dresden* (*Ber. d. deutsch. bot. Ges.*, 1887).

289 1888 Hilgard. — *Ueber die Einfluss des Kalkes als*

Bodenbestandtheil auf die Entwickelungsweise der Pflanzen (*Wollny's Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik*, 1888).

290 1888 Félix Sahut. — *Adaptation des Vignes américaines au sol et au climat* (Montpellier et Toulouse, 1888). L'auteur reste vague et semble ne pas adopter la doctrine de l'influence chimique.

291 A. Masclef. — *Excursion à Fontainebleau sous la direction de M. G. Bonnier* (*Bull. des sc. nat. de la Fac. des Sc. de Paris*, 1888) Partisan de l'influence chimique du sol.

292 Schimper. — *Ueber Kalkoxalatbildung in die Laubblättern* (*Bot. Zeitung*, 1888).

293 A. Masclef. — *Études sur la Géographie botanique du Nord de la France*, et *Contributions nouvelles à la Flore des collines d'Artois* (*Journal de botanique*, 1888-1889).

294 Dr Ant. Magnin. — *Note sur les contrastes en petit présentés par la végétation des terrains calcaires des environs de Besançon* (*Soc. d'émulation du Doubs*, 21 juillet 1888).

295 Ch. Flahault. — *Les herborisations aux environs de Montpellier* (*Journal de botan.*, 1888 et 1889). La théorie de l'influence chimique y est démontrée par le contraste des flores entre les bois de la région siliceuse et les garrigues calcaires.

296 Émile Petit. — *La chlorose; recherche de ses causes et de ses remèdes* (Bordeaux, 1888, et *Journ. d'agric. prat.*, 1889). Nie l'influence chimique du sol et admet la théorie physique.

297 L. Macchiati. — *Contribuzione alla flora del gesso* (*Bull. della Società botanica italiana*, in *Nuovo giornale botanico italiano*, 1888).

298 1889 J. Ivolas. — *La végétation des Causses* (Montpellier, 1889). Partisan de l'influence chimique.

299 G.-L. Beille. — *Essai sur les zones de végétation du Massif central de la France* (Thèse de pharmacie, Toulouse, 1889). Admet l'influence chimique et explique la présence de plantes calcicoles sur les terrains volcaniques.

300 G. Bonnier. — *Études sur la végétation de la vallée de Chamonix* (*Revue gén. de botan.*, 1889).

301 G. Kohl. — *Anatomische physiologische Untersuchungen der Kalksalze und Kieselsaure in der Pflanze* (Marburg, 1889; C. R. *in Ann. agronom.*, t. XVI, 1890) (1).

302 B. Chauzit. — *Étude sur l'adaptation au sol des vignes américaines* (*in* : *Une mission viticole*, par P. Viala, 1889). Partisan de l'influence chimique du calcaire.

303 L. Ravaz. — *Rapports à M. le Président du Comité de viticulture de Cognac* (Cognac, 1889 à 1892). Partisan de l'influence chimique du calcaire.

304 P. Viala et L. Ravaz. — *Des vignes américaines, adaptation*, etc. (Montpellier, 1889, et édit. suivantes).

305 1890 S. Milioutin. — *Matériaux pour servir à l'histoire de la flore des calcaires de l'Oka* (supplément au *Bull. Soc. des naturalistes de Moscou, sect. de Botan.*, 1890). Partisan des influences physiques.

306 Schimper.— *Zur Frage der Assimilation der Mineralsalze durch die grüne Pflanze* (*Flora*, 1890).

307 P. Kostytchew. — *Sur le rapport entre les sols et*

(1) V. la remarque, en note, de 1884.

certaines formes botaniques (VIII[e] Congrès des naturalistes et médecins russes à Saint-Pétersbourg, 1890). Nie le climat et la composition chimique et croit surtout à l'influence de l'eau du sol.

308 1890 Ch. Flahault. — *Les herborisations aux environs de Montpellier* (*Journal de botanique*, 1890).

309 Abbé Cariot et D[r] Saint-Lager. — *Flore du bassin moyen du Rhône et de la Loire* (8[e] édit., Lyon, 1889). Dans la préface de cet excellent ouvrage qu'il a revisé et complété après la mort de l'abbé Cariot, le D[r] Saint-Lager expose ses idées sur l'importance de l'appétence chimique des plantes.

310 P. Lesage. — *Influence du bord de la mer sur la structure des feuilles* (Thèse, Rennes-Paris, 1890, et publications postérieures *in C. R. Acad. Sc.*, *Revue gén. de bot.*, *A. F. A. S.*, etc.).

311 Georges Ville. — *L'analyse de la terre par les plantes* (*Revue scientifique*, 1890). G. Ville montre l'action chimique de différentes matières minérales sur les plantes.

312 1891 G. Coutagne. — *De l'influence du calcaire sur les vignes* (*A. F. A. S.*, Marseille, 1890, t. I et II).

313 Petiot. — *Les vignes américaines dans la Côte châlonnaise* (*Congrès de Beaune*, 1891). Parle de l'influence des sols calcaires sur les Vignes.

314 Sagorski et Schneider. — *Flora der Central-Karpathen* (1891). Partisans de l'influence chimique. Expliquent la présence de quelques calcicoles sur certains terrains siliceux.

315 Lucien Daniel. — Note sur l'influence du drainage et de la chaux sur la végétation spontanée dans le département de la Mayenne (*Rev. gén. de botan.*, 1891).

316 1891 KERNER. — *Pflanzenleben.*

317 PH. VAN TIEGHEM. — *Traité de botanique* (2e édit., 1891). Allègue (p. 1763) que les plantes qui sont calcicoles dans une région sont calcifuges ailleurs, et que l'on peut cultiver des plantes silicicoles en terres calcaires et réciproquement.

318 FRANCISQUE MOREL. — *De l'influence chimique du sol sur la végétation arborescente* (*Bull. Un. du S.-E. des Synd. agricoles*, 15 juillet 1891).

319 L. MACCHIATI. — *Seconda contribuzione alla flora del gesso* (*Nuovo giorn. bot. ital.*, 1891).

320 L. RAVAZ. — *Les Vignes américaines dans les terrains calcaires* (*Progrès agricole*, mars 1891).

321 ÉMILE LAURENT. — *Influence de la nature du sol sur la dispersion du Gui* (*Viscum album*) (*Bull. Soc. roy. de botan. de Belgique*, t. XXIX, 1891).

322 1892 LASSIMONE. — *Principes de topographie botanique* (1892).

323 H. HITIER. — *L'analyse des terres et les cartes agronomiques* (*Journ. d'agric. prat.*, 1892, t. I).

324 G. COUTAGNE. — *De l'influence du calcaire sur les vignes américaines*, et *Sur la chlorose ou l'infécondité des vignes calcifuges plantées en terrain calcaire* (*Progrès agricole*, 1892).

325 A. MASCLEF. — *Sur l'adaptation du* Pteris aquilina *aux sols calcaires* (*Revue gén. de botan.*, 1892).

326 A. BERNARD. — *Le calcaire* (Mâcon, 1892). Partisan de l'influence chimique.

327 A. BERNARD. — *Rôle du fer en sol calcaire* (*Progrès agricole*, juillet et août 1892).

328 A. BERNARD. — *Mesure et rôle du calcaire dans les terres arables* (*Vigne américaine*, 1892).

329 1892 B. Chauzit. — *La Vigne américaine en terrain gypseux* (*Ann. agronom.*, 1892).

330 P.-P. Dehérain. — *Traité de chimie agricole* (développement des végétaux, terre arable, amendements et engrais). Tous les phénomènes de l'action chimique du sol et des engrais sont développés dans cet important ouvrage.

331 Jules Crevat. — *Les engrais verts dans les sols calcaires* (*Journ d'agricult. prat.*, 1892).

332 1893 L. Ravaz. — *Défoncement et plantation dans les sols calcaires* (*Revue de viticulture*, 30 décembre 1893).

333 Dr Ant. Magnin. — *La végétation des Monts Jura* (*in : Besançon et la Franche-Comté*, ouvrage publié à l'occasion du Congrès de l'A. F A. S. en 1893). M. Magnin décrit et démontre les contrastes de végétation en terrains calcaires et siliceux ; il compare, à ce point de vue, les flores des chaînes jurassiques calcaires, des Vosges siliceuses, des plaines de la Bresse, etc.

334 Dr Ant. Magnin. — *La végétation des Alpes françaises* (*in : Les Alpes françaises*, par A. Falsan, Paris, 1893). La végétation alpine y est soigneusement décrite dans ses rapports avec la nature du sol.

335 Lagatu et Semichon. — *La chlorose dans le terrain pliocène de l'Hérault* (*Progrès agricole*, 1893).

336 L. Bazot. — *Catalogue des plantes vasculaires de l'arrondissement de Vitry-le-François* (*Marne*), avec *notes de géographie botanique* (1893). On trouve en particulier, dans cet ouvrage, la liste des plantes calcicoles des terrains crayeux.

337 Viviand-Morel. — *La chlorose dans les terrains calcaires* (*Lyon horticole*, 1893).

338 1893 P. Viala. — *Les maladies de la Vigne* (3e édit., Montpellier-Paris, 1893). A propos de la chlorose notamment, l'auteur se déclare partisan de l'influence chimique du sol.

339 G. Coutagne. — *Adaptation* (rapports des Vignes avec le sol) (*Progrès agricole*, juin 1893).

340 Ch. Flahault. — *La distribution géographique des végétaux dans un coin du Languedoc (département de l'Hérault)* (Extr. de la *Géographie générale de l'Hérault*, publiée par la *Société languedocienne de géographie*, 1893).

341 1894 Georges Ville. — *L'analyse de la terre par les plantes* (volume commémoratif du Centenaire de la fondation du Muséum d'hist. nat., Imprimerie nationale, Paris, 1894).

342 B. Chauzit. — *Rôle de l'argile dans l'adaptation au sol des plants américains* (*Revue de viticulture*, 1894, t. I).

343 Dr F.-X. Gillot. — *Influence de la composition minéralogique des roches sur la végétation ; colonies végétales hétérotopiques* (*Bull. Soc. bot. de France*, session extraord. en Suisse, 1894, p. XVI).

344 Houdaille et Semichon. — *Étude de l'état physique du calcaire considéré comme cause déterminante de la chlorose* (*Revue de viticulture*, avril, mai et octobre 1894). Partisans de l'influence chimique du calcaire, mais cette action chimique varie selon l'état physique (ténuité, vitesse d'attaque par CO^2, etc.).

345 J. Camusat. — 1° *De la présence des plantes calcicoles dans les terrains siliceux ;*

2° *Sur la présence du* Digitalis lutea *dans les terrains granitiques des environs du Creusot ;*

3° *Observations relatives à l'habitat du Genêt à balais* (*Bull. Soc. d'hist. nat. d'Autun*, 1894).

346 1894 Octave Meyran. — *Observations sur la Flore du Plateau central* (*Bull. Soc. bot. de Lyon*, 1894). Partisan de l'influence chimique du sol ; il donne une statistique détaillée des espèces silicicoles et calcicoles et fournit des indications particulières sur la distribution en Europe des espèces les plus caractéristiques du Massif central.

347 G. Bonnier. — *Remarques sur les différences que présente l'*Ononis natrix *cultivé sur un sol calcaire ou sur un sol non calcaire* (*Bull. Soc. bot. de France*, 1894, p. 59).

348 1895 Viviand-Morel. — 1° *Le calcaire c'est l'ennemi !* (*Lyon horticole*, 1895, p. 101) ;

2° *A propos des plantes calcifuges* (*id.*, p. 247) ;

3° *La chlorose en viticulture* (*id.*, p. 50).

349 R. Maire. — *Annotations à la Flore de Lorraine de Godron* (*Feuille des Jeunes naturalistes*).

350 Abbé Letacq. — *Considérations sur la Géographie botanique du département de l'Orne* (Extr. de l'*Annuaire Normand*, 1895). Partisan de l'influence chimique du sol.

351 H. Jaccard. — *Catalogue de la Flore Valaisanne* (1895). Donne l'énumération de 240 plantes calcicoles exclusives et préférentes, et de 200 silicicoles.

352 Dr Saint-Lager. — *L'appétence chimique des plantes et la concurrence vitale* (*Bull. de la Soc. bot. de Lyon*, 1895). L'auteur réfute la théorie de Nægeli concernant les effets de la concurrence vitale, et résume la doctrine de l'appétence chimique des plantes déjà exposée dans plusieurs de ses précédents ouvrages.

353 1895 Ch. Albert. — *A propos des plantes calcifuges* (*Lyon horticole*, 1895, p. 246 et 284). M. Albert nie, même pour le Châtaignier, l'influence chimique du sol. M. Viviand-Morel fait suivre ces deux notes d'une courte réponse réfutative.

354 1896 Joseph Vallot. - *Sur une station du* Pteris aquilina *sur un dyke siliceux du bois de Lodève* (*Revue gén. de botan.*, t. VIII, 1896, p. 321).

355 Heinrich. — *Mergel und Mergeln* (Berlin, 1896). Montre l'action chimique de la chaux et du calcaire sur diverses plantes cultivées.

356 Drs F.-G. Stebler et C. Schroeter. — *Les plantes fourragères alpestres*, avec notions détaillées sur les relations au climat et au sol, etc.; trad. par H. Welter (Paris-Berne, 1896). Partisans réservés de l'influence chimique du sol.

357 E. Warming. — *Okologische Pflanzengeographie.*

358 Aug. Gasser. — *Note sur les terrains quaternaires du canton d'Autrey-les-Gray* (*Haute-Saône*) (*in Bull. Soc. d'ét. des sc. nat. de la Haute-Saône*, N° 1, 1896).

359 1897 Heinrich. — *Action de la chaux sur les Lupins* (*Ann. agronom.*, 1897).

360 Tacussel et Zacharewicz. — *Champ d'expériences en terrain calcaire* (*Revue de viticulture*, fév. 1897, etc.).

361 L. Grandeau. — *Rôle de la chaux en agriculture* (*Journal d'agricult. prat.*, 1897, t. I, p. 665, 700, 737).

362 Dr A. Magnin et Fr. Hétier.— *Observations sur la flore du Jura et du Lyonnais* (Besançon, 1894-1897). Indiquent les préférences géiques des plantes.

363 Eugène Risler. — *Géologie agricole*, 4 vol. 1884-

1897. Excellent ouvrage renfermant de nombreuses et intéressantes données sur l'influence du sol et sur les applications botaniques et agricoles de la géologie.

364 1897 Dr O. Drude. — *Manuel de Géographie botanique.* Trad. Poirault. Paris, 1897.

365 G. Foex. — *La reconstitution dans les terrains calcaires* (*Progrès agricole*).

366 1898 Ch. Dassonville. — *Influence des sels minéraux sur la forme et la structure des végétaux* (Thèse, Paris-Lille, 1898, et autres travaux antérieurs dans *Revue générale de botanique*, etc.). L'auteur étudie et démontre l'action chimique de divers sels minéraux sur les plantes; il ne s'est pas occupé de l'action du sel marin et du calcaire.

367 Raymond Gavoty.— *Les terrains chlorosants* (*Progrès agricole*, mai 1898).

368 O. Lœw. — *Ueber die physiologischen Functionen der Calciumsalze* (*Bot. centr.*, t. LXXIV, 1898). Et diverses publications antérieures analysées dans les *Annales agronomiques*, 1892, etc.

369 X. — *La Géologie appliquée à l'Horticulture* (*Lyon horticole*, 1898).

370 Viviand-Morel. — *La Botanique aidant la Chimie dans l'analyse du sol* (*Lyon horticole*, 1898).

371 F. Berthault.— *Les Prairies* (1897-1899). Admet l'influence chimique du sol sur les Graminées, les Légumineuses, etc.

372 Prosper Gervais. — *La reconstitution des terrains calcaires* (brochure de 150 p., et *Progrès agricole*, mars 1896 et octobre 1898).

373 Schimper. — *Pflanzengeographie auf physiologischer Grundlage* (Iéna, 1898-99). Dans ce magnifique ouvrage, splendidement illustré et

non encore traduit en français, l'auteur envisage surtout l'action du climat dans la distribution géographique des végétaux.

374 1898 Marius Audin. — *Plantes calcicoles du Haut-Beaujolais* (*Ann. Soc. bot. de Lyon*, 1898). Partisan de l'influence chimique du sol. Explique la présence exceptionnelle de quelques plantes calcicoles sur les roches anciennes du Beaujolais.

375 J.-A.-Cl. Roux.—*Études géologiques sur les Monts Lyonnais* (2e suite, *Ann. de la Soc. Linnéenne de Lyon*, t. XLV, 1898): *Géologie appliquée*, chap. III, *Géol. appl. à la Botanique*; *le sol et les plantes spontanées*. L'auteur fait une revue critique rapide des théories de l'influence physique et de l'influence chimique. Sans exclure la première, il est partisan déclaré de cette dernière, à la suite de MM. Saint-Lager, A. Magnin, etc. Il donne enfin des listes des plantes silicicoles des Monts Lyonnais et calcicoles du Mont-d'Or, et explique les anomalies et exceptions constatées dans certaines localités.

376 E. Demoussy. — Diverses notes sur l'*Absorption des sels minéraux par les plantes* (*C. R. Ac. Sc.*, 1894, 1898, etc., (*Progrès agricole*, 1894, 1899, etc.).

377 Victor Oehlmann. — *Vegetative Fortpflanzung der Sphagnaceen nebst ihrem Verhalten gegen Kalk* (1 vol. Braunschweig). P. 59 : *Einfluss der Verbindungen des Kalkes und anderer Salze auf Sphagnum.*

378 1899 Prosper Gervais. — *Reconstitution des vignobles en terrains calcaires* (*Progrès agricole*, octobre 1898 et mars 1899).

379 Paul Jaccard. — *Étude géo-botanique de la flore*

du haut-bassin de la Sallanche et du Trient (*Rev. gén. de botan.*, t. XI, 1899).

380 1899 A. Gasser et R. Maire. — *De l'influence du calcaire sur la végétation et de la valeur de l'analyse calcimétrique des terres* (*Bull. Soc. des sc. de Nancy*, et *Soc. Grayloise d'émulation*, 1899). Dans cette note, les auteurs tentent d'expliquer l'action chimique du calcaire et donnent un résumé bibliographique.

381 J.-A.-Cl. Roux. — *Végétation défectueuse et chlorose des plantes silicicoles en sols calcaires* (*Ann. Soc. Linnéenne de Lyon*, t. XLVI, 1899). L'auteur donne les premiers résultats de ses cultures expérimentales de plantes silicicoles en sols de plus en plus calcaires (V. Chlorose).

382 A. de Saporta. — *Physique et Chimie viticoles* (Paris, 1899). L'auteur montre l'influence chimique exercée par le sol sur les Vignes.

383 V. Viviand-Morel. — *Observations sur quelques plantes de Fontainebleau* (*L'Echange, Revue Linnéenne de Lyon*, 1899, N^os^ 174 et 175).

384 E.-J. Grellet. — *Influence antimalarique de la chaux* (infl. du calcaire sur les bactéries), dans la *Revue scientifique*, 21 octobre 1899.

385 Émile Laurent. — *Recherches expérimentales sur les maladies des plantes* (*Ann. de l'Institut Pasteur*, décembre 1898 et 1899). Ces recherches mettent en relief l'influence du sol et de l'alimentation minérale sur la résistance des plantes à leurs parasites.

APPENDICE

TRAVAUX SANS DATE

386 1850 ? S. Johnson et O. Sendtner. — *Chemische Untersuchungen verschiedener Pflanzenaschen, Bodenarten und Gewässer und ihre Beziehungen zu gewissen Vegetationsverhältnissen in Bayern* (*Wölther's, Liebig's und Kopp's Annalen der Chemie und Pharmacie*, t. XCV, p. 226-242).

387 1860 ? Kirschleger. – *Notice sur la végétation comparée du Jura, des Vosges et de la Forêt-Noire* (*Congrès scientifique de France*, t. II).

388 1840 ? Albert Le Play. *Rech. chimiques sur l'une des sources de chaux que s'assimilent les produits agricoles des terrains primitifs du Limousin* (*Bull. Acad. des Sc.*). Montre que le gneiss décomposé fournit à certaines plantes la quantité de chaux nécessaire à leur nourriture.

389 1845 ? Hugo von Mohl. — *Ueber die Flora von Würtemberg* (*Würtemb. naturwissensch. Jahreshefte*). Partisan de l'influence chimique.

390 1865 ? Dr P. Sagot. – *Quelques souvenirs d'herborisations à propos de la relation qui lie la végétation à la nature du sol* (*Mém. Soc. Acad. de Maine-et-Loire*, t. XXVI). Admet l'influence chimique du sol.

391 1860 ? Fr. Simony. — *Fragmente zur Pflanzengeographie des Osterreichischen Alpengebietes.* Partisan de l'influence chimique.

392 1880 ? Le Boullenger. — *Influence du calcaire sur les Graminées.*

393 1805 ? Louis Ramond. -- *Mémoire sur la végétation du sommet du Pic du Midi.* Apprécie l'influence de la nature du sol sur la végétation.

394 1860 ? Ch. Contejean. — *Un fait de géographie botanique à l'appui de l'influence chimique du sol* (*L'Institut*, 29e année).

A ces documents bibliographiques, on pourrait encore ajouter une longue liste d'ouvrages lichénographiques. Mais cette addition nous paraît superflue, parce qu'il n'est pas un seul lichénologue qui n'ait hautement affirmé la corrélation existant entre les Lichens saxatiles et terricoles et la composition chimique des rochers et de la terre.

Pour s'en convaincre, il suffit de parcourir les ouvrages de : Acharius, Fries, Montagne, Nylander, Schœrer, Massalongo, Koerber, Krempelhuber, Flotow, Floerke, Arnold, de Notaris, Flagey, Dr. A. Magnin, et d'une foule d'autres.

Pareille unanimité existe aussi chez les bryologues, en ce qui concerne les préférences géiques d'un grand nombre de Mousses.

Enfin, pour ne pas allonger outre mesure notre aperçu historique, nous nous en sommes tenu aux principaux travaux et nous avons omis volontairement un grand nombre de Flores et de Florules contenant des indications géognostiques, ainsi que d'innombrables observations de détail consignées dans les Procès-verbaux des séances des Sociétés savantes et dans les Annales, Revues, Bulletins ou Journaux botaniques.

CHAPITRE TROISIÈME

INFLUENCE DE LA COMPOSITION CHIMIQUE DU SOL

La revue historique qui précède, ainsi que les considérations émises dans le chapitre premier, nous démontrent déjà que beaucoup de botanistes, et des meilleurs, admettent la prépondérance, ou au moins la très grande importance de la composition chimique du sol. D'ailleurs, depuis quelques années, et à la suite des progrès de la chimie agricole et des recherches des agronomes les plus autorisés, l'absorption et l'assimilation des matières minérales ne sont plus, comme au temps de Liebig, plongées dans l'incertitude. Si nous ne parvenons pas encore à expliquer complètement les phénomènes physiologiques de la nutrition minérale, cela tient surtout à l'insuffisance de nos connaissances sur la constitution, la formation et les réactions des matières azotées, et notamment des protoplasmes et des chlorophylles.

Nous exposerons, en les complétant par nos observations et nos expériences personnelles, les preuves de l'influence chimique du sol, tirées successivement du *raisonnement*, de l'*observation* et de l'*expérience*.

A. — RAISONNEMENT

Les notions déjà bien précises, quoique insuffisantes, que nous possédons actuellement sur l'absorption et le choix relatif des matières minérales par le système pilifère des radicelles des plantes, nous conduisent à conclure, d'une façon positive et indubitable, que certains sels, tels que le carbonate de chaux, le chlorure de sodium, etc., pourront et devront nécessairement être utiles ou nuisibles à certaines plantes, selon leur abondance et leur état dans le sol. Car, quoi qu'on en puisse dire, la plante absorbera, par exemple, beaucoup plus de carbonate

de chaux dans un sol calcaire que dans un sol siliceux. Or, comme la composition chimique des terrains vierges ou cultivés est extrêmement variable pour un sel considéré, il est certain que tel sel abondant, absorbé en quantité par toutes les plantes, sera supporté par les unes et répugnera à d'autres. Si nous ne pouvons encore nous expliquer ces *appétences géiques* des plantes, nous devons pourtant les admettre, car toutes les plantes n'ont pas les mêmes besoins, les mêmes goûts, la même indifférence envers leurs aliments.

Au surplus, comme tout raisonnement, en sciences biologiques surtout, n'a de valeur que basé sur l'observation et sur l'expérience, nous aurons soin d'accompagner chaque observation ou expérience des déductions et des corollaires qu'elle comporte.

B. — OBSERVATION

Les observations de faits relatifs à l'influence de la composition chimique du sol sur les plantes sont innombrables. Loin de nous la pensée d'entreprendre de les reproduire toutes en détail ici ; nous esquisserons seulement, à grands traits, les plus importantes d'entre elles, en étudiant successivement l'influence: 1° du *carbonate de chaux* ou *calcaire* ; 2° du *chlorure de sodium* ou *sel marin*; 3° de la *potasse* ; 4° du *gypse* et de la *dolomie* ; 5° des sels divers ; 6° nous présenterons ensuite un exposé des anomalies et exceptions apparentes ou réelles (*colonies hétérotopiques*, *contrastes en petit*).

1° INFLUENCE DU CARBONATE DE CHAUX

(FLORES OU PLANTES CALCICOLES ET CALCIFUGES) (1)

Flores calcicole et silicicole. — Exemples choisis. — La plupart des botanistes ont nettement distingué, en toute région du

(1) Nous tenons à préciser ici, une fois pour toutes, le sens précis que nous attachons aux mots *calcicole, calcifuge, silicicole*, etc.

Bien que *calx, calcis*, signifie simplement *la chaux*, il est entendu qu'on a seulement en vue l'action chimique du *carbonate de calcium*, et

globe, des *flores calcicoles et silicicoles*, trahissant l'influence exercée par le carbonate de chaux. Nous choisirons simplement, entre mille, quelques exemples parmi les plus intéressants.

Le Dr Unger (1836) est le premier botaniste qui ait signalé et distingué, d'une façon précise, des plantes *amies de la chaux*, *amies des schistes siliceux*, et *indifférentes*.

Plus tard, Contejean, précisant ces qualificatifs, a classé les plantes en *calcicoles*, *silicicoles* et *indifférentes*, après avoir été, jusqu'en 1853, l'un des plus chauds partisans des idées thurmanniennes. «Ayant peu vu, dit-il, je croyais à l'influence physique du terrain; ayant observé davantage, je suis devenu partisan de l'opinion contraire».

En 1857, Boreau, dans l'introduction de sa *Flore du Centre*, cite un excellent exemple de l'influence chimique du sol : « Une plante remarquable, dit-il, dont j'ai réuni plus de 50 exemplaires de localités diverses, l'*Inula montana*, offre un exemple frappant de la préférence de certaines espèces pour une nature déterminée de terrains. Partie de l'Est de la France, elle se trouve à Dijon, puis près d'Auxerre, on la retrouve à Bourges, à Issoudun, dans la Vienne, à l'extrémité la plus méridionale des Deux-Sèvres, et, pénétrant dans la Charente-Inférieure, elle va finir à Royan, sur le rivage même de la mer! En suivant ainsi cette ligne inclinée de l'Est au Sud-Ouest, cette plante se trouve exposée à des températures bien diverses,

---

non de l'oxyde, du sulfate, du nitrate, etc. Nous rejetons absolument les expressions *calcaricole* et *calcarifuge* employées par quelques auteurs, car le mot latin *calcar* signifie *éperon* et n'a aucun rapport avec le calcaire. Ainsi, *Viola calcarata* signifie violette à long *éperon*, etc.

Sous ce rapport, nous sommes absolument de l'avis du Dr Saint-Lager, qui propose, en conséquence, de remplacer *Phegopteris calcarea*, Phégoptère du calcaire, par *Ph. calcicola*, etc. Nous ne pouvons que regretter l'absence de toute locution grecque ou latine signifiant le *calcaire*, *carbonate de chaux*, et nous en sommes réduits à adopter le radical *calx*, *calcis*.

Quant au mot *silicicole*, il n'a pas toujours pour nous la valeur d'un synonyme de *calcifuge*. Enfin, nous rejetons le mot *silicifuge*, car il est très probable qu'aucune plante ne redoute la silice.

mais elle retrouve presque partout le banc de calcaire jurassique qui suit exactement la même ligne».

En 1858, les savantes recherches de Malaguti et Durocher contribuèrent certainement à la conversion de plusieurs thurmanniens à la doctrine chimique.

En 1875, dans son *deuxième mémoire*, Ch. Contejean, devenu le champion de la doctrine de l'influence chimique, a complété son *premier mémoire* de 1874, en résolvant lui-même en grande partie le programme qu'il avait tracé aux botanistes. Il a cité des faits nombreux démontrant la prépondérance de l'action chimique du terrain, choisissant ses exemples dans les grès de Fontainebleau, dans les basaltes de l'Auvergne, dans les tufs du Jura, etc. Il a donné de très exactes et multiples observations qui prouvent l'action répulsive du calcaire sur les plantes calcifuges, d'après des exemples tirés des grès de Fontainebleau, des basaltes d'Auvergne, des sables maritimes, de la culture du Châtaignier, et enfin des jardins botaniques.

Ainsi que le montre l'examen de la revue historique présentée au chapitre précédent, les observations des botanistes se sont étendues non point à quelques localités spéciales, mais indistinctement *à tous les coins et recoins de la France et des contrées voisines*.

Contrastes en grand. — La notion des *contrastes en grand* a été développée surtout par les docteurs Ant. Magnin et Saint-Lager; dans leurs nombreux et savants écrits, ils ont étayé l'exposé de leurs observations par de longues listes de plantes, reconnues calcicoles ou silicicoles, du bassin du Rhône, du Centre et de l'Est de la France.

Exemple classique de la végétation du Jura (Dr A. Magnin). — Nous ne pouvons résister au désir de citer textuellement le passage suivant d'un mémoire du Dr Magnin sur la *Végétation des Monts Jura* et des contrées voisines. Cette courte citation est pleine d'enseignements pour les botanistes.

«Ce qui frappe tout d'abord lorsqu'on passe des montagnes granitiques des Vosges ou des plaines tertiaires de la Bresse sur

les premiers gradins calcaires du Jura, c'est le changement brusque qui s'opère dans la composition du tapis végétal : les Sarothamnes, *Hypericum pulchrum*, *Filago*, *Orobus tuberosus*, Luzules, *Aira flexuosa* de la Bresse, les *Scleranthus perennis*, *Ornithopus*, *Montia*, *Arnoseris*, *Jasione*, *Digitalis purpurea*, *Juncus squarrosus* des Vosges, font place aux Buis, aux *Cerasus Mahaleb*, *Coronilla Emerus*, *Seslera cœrulea*, *Orobus vernus*, *Mœhringia muscosa*, *Cytisus Laburnum*, qui couvrent les coteaux du Jura ; dans la lisière bressanne, ce dernier contraste est si frappant qu'il a été constaté par cette observation populaire que «les Genettes (*Sarothamnus*) ne montent pas, et que les Bois de-Chèvre (*Laburnum*) ne descendent pas dans la plaine». Cette végétation contrastante est due, comme on sait, à la nature différente des terrains de chacune de ces régions, surtout aux propriétés chimiques spéciales des sols calcaires, qui agissent défavorablement sur un certain nombre de plantes dites, pour cette raison, calcifuges (Contejean), les empêchent de se développer ou les mettent du moins dans l'impossibilité de lutter contre l'extension des plantes non calcifuges ou calcicoles ; elle est due aussi, dans une certaine mesure, à la constitution physique du sol, surtout à ses propriétés hygroscopiques qui donnent à la végétation des contrées siliceuses un caractère surtout hygrophile, et à la flore des terrains calcaires un caractère nettement xérophile ; les stations les plus caractéristiques du Jura sont, en effet, les coteaux bathoniens, coralliens ou portlandiens, avec leurs crêts dénudés, leurs friches rocailleuses ou couvertes de broussailles, dont la végétation se fait remarquer par son aspect misérable, rabougri, bien différent du développement luxuriant des plantes des stations fraîches, comme dans les régions siliceuses ; l'organisation des plantes des calcaires — avec leurs tiges peu élevées, peu ramifiées, leur feuillage moins développé, souvent réduit aux feuilles radicales, leurs racines courtes, peu profondes, leurs organes fréquemment coriaces ou couverts d'une glaucescence cireuse, d'une cuticule épaisse ou d'un indumentum de poils tecteurs — est, en somme, adaptée aux conditions particulières du milieu, à la nécessité de lutter contre la sécheresse et l'évaporation ; elle imprime aux associations végétales, au paysage botanique des coteaux jurassiques, un cachet tout particulier. Cette végétation a aussi un caractère remarquable de précocité se manifestant par l'avance très marquée des cultures et

des récoltes, et rendant les herborisations d'été ordinairement infructueuses dans la basse montagne.

On rencontre heureusement des stations fraîches, à végétation hygrophile, plus luxuriante et plus tardive, dans les vallons ombragés du vignoble et des premiers plateaux, les combes et les forêts de la haute montagne. Ces stations sont dues à l'exposition septentrionale et à la présence de couches marneuses, alternant avec les calcaires compacts, sur les talus des coteaux (marnes du keuper et du lias), dans le fond des vallons et sur le flanc des combes (marnes de l'oxfordien, de l'astartien ou du néocomien).

Parmi les espèces absolument *caractéristiques* par leur fréquence sur les chaînes calcaires jurassiques et par leur absence ou leur rareté dans les régions voisines, nous citerons : *Thalictrum aquilegifolium, Th. calcareum, Helleborus fœtidus, Dianthus saxicola, Mœhringia muscosa, Arabis alpina, Draba aizoides, Kernera saxatilis, Helianthemum canum, Rhamnus alpina, Anthyllis montana, Orobus vernus, Amelanchier, Cytisus Laburnum, Cerasus Mahaleb, Coronilla Emerus, Atamantha cretensis, Laserpitium siler, Valeriana montana, Carduus defloratus, Carlina acaulis, Hieracium Jacquini, H. amplexicaule, Campanula pusilla, Sideritis hyssopifolia, Erinus alpinus, Thesium alpinum, Veronica urticifolia, Daphne Laureola, Cyclamen europœum, Buxus sempervirens, Ruscus aculeatus, Seslera cœrulea, Polypodium calcareum, Asplenium viride, A. Halleri, etc.*

Les plantes suivantes des montagnes granitiques des Vosges ne s'observent, au contraire, jamais dans les chaînes du Jura : *Viola sudetica, Silene rupestris. Sedum annuum, Saxifraga stellaris, Ornithopus perpusillus, Montia fontana, Scleranthus perennis, Filago minima, Arnoseris minima, Jasione montana, Gnaphalium norwegicum, Leontodon pyrenaicus, Lactuca Plumieri, Meum mutellina, Angelica pyrenæa, Digitalis purpurea, Juncus filiformis, J. squarrosus, Asplenium septentrionale, A. Breynii, Allosorus crispus,* etc. Enfin, les terrains siliceux, tertiaires et quaternaires de la Bresse, de la vallée de l'Ognon (et du bassin molassique suisse) possèdent une partie des espèces des Vosges et d'autres plantes calcifuges qui manquent aussi dans le Jura ou n'y arrivent qu'exceptionnellement ; telles sont : *Stellaria holostea, Gypsophila muralis, Hyper. pulchrum, Saroth. scoparius, Orob. tuberosus, Ornithopus, Epilobium obscurum, Montia, Corrigiola littoralis, Illecebrum verticillatum, Centaurea nemoralis, Filago gallica, Ar-*

noseris, *Hieracium boreale*, *Galeopsis dubia* (?), *Carex brizoides*, *Luzula albida*, *L. maxima*, *Aira cæspitosa*, *A. flexuosa*, *Danthonia decumbens*. Si, par l'ensemble de sa végétation, le Jura se distingue ainsi très nettement des contrées voisines, on peut cependant rencontrer dans un assez grand nombre de points de la lisière du Jura et du premier plateau, plus rarement dans la haute montagne, des plantes silicicoles isolées ou même de véritables florules locales de plantes calcifuges, contrastant avec la flore calcicole environnante ; diversement interprétée, prise tour à tour comme argument par les partisans et les adversaires de la théorie de l'influence chimique, la présence de ces plantes est toujours accompagnée d'un changement dans la nature du sol ; ces *contrastes en petit* (Thurmann) s'observent, en effet, sur des terrains pauvres en carbonate de chaux, comme les sols organiques (humus des forêts de sapins, tourbières), les couches particulièrement riches en silice de certains étages jurassiques (bajocien à silex et à polypiers, oxfordien à chailles, dolomie portlandienne, grès vert, terrain sidérolithique), les terrains de transport (alluvions vosgiennes de la vallée de l'Ognon, chailles remaniées du Jura bisontin, erratique alpin du Jura méridional) ; ils sont dus enfin à l'influence de la lixiviation pluviale, épuisant les parties superficielles des couches précédentes du peu de calcaire qu'elles contiennent et les rendant absolument siliceuses ; ce n'est que dans ces stations qu'on rencontre, pour le Jura, les Sarothamnes, Bruyères, Tormentilles, Châtaigniers, *Pteris*, *Luzula albida* et *maxima*, *Orobus tuberosus*, *Hypericum pulchrum*, *Danthonia*, *Aira*, etc. ; dans le Jura méridional, le glaciaire alpin a transporté des blocs, souvent volumineux, de roches siliceuses, couvertes de Mousses et de Lichens caractéristiques, notamment du *Lecidea geographica*, et avec eux, l'*Asplenium septentrionale ;* ces placages d'erratique se reconnaissent ordinairement de loin aux bois de Châtaigniers qui les couvrent ; les terrains meubles du glaciaire local sont au contraire caractérisés par la présence des espèces pélopsammiques calcicoles, *Scrofularia canina*, *Ononis natrix*, *Chlorocrepis staticifolia* (Jura méridional). C'est encore à des modifications analogues qu'il faut rapporter la présence dans la haute montagne de quelques plantes des Vosges, comme l'*Arnica montana*, le *Meum athamanthicum*, etc. »

Contrastes dans les Monts Lyonnais. — Nous avons exposé autre part (1) les idées du Dr Saint-Lager et cité les principaux passages de ses écrits sur la corrélation constante existant entre le tapis végétal et la nature des roches. Nous n'y reviendrons pas ici. Dans nos *Etudes géologiques sur les Monts Lyonnais*, pour ce qui concerne la région granito-gneissique limitée par le Rhône, la Brevenne et le Gier, nous avons confirmé, vérifié et complété, sur quelques points particuliers du bassin de la Coise, les si intéressantes recherches phytostatiques du Dr Ant. Magnin. Nous avons donné dans ce travail un court exposé de la théorie de l'influence chimique que nous étendons d'ailleurs aux animaux et à l'homme lui-même, et nous avons dressé (en ajoutant aux espèces déjà publiées nos observations sur quelques localités importantes, ainsi que les principales espèces de Mousses et de Lichens) la liste des plantes silicicoles les plus caractéristiques de la région qui fait depuis plusieurs années l'objet de nos études et de nos excursions favorites. Nous en reparlerons, d'ailleurs, à propos des colonies hétérotopiques.

L'influence chimique du calcaire s'exerce sur toutes les plantes. — Les botanistes ont depuis longtemps remarqué que l'influence chimique du sol s'exerce sur *toutes les plantes* Phanérogames, Cryptogames vasculaires, Muscinées et même les Thallophytes. Parmi ces dernières, les Lichens sont bien connus pour leur adhérence particulière à certains sols. Ainsi que nous l'avons fait remarquer, tous les lichénologues sont unanimes à reconnaître l'influence du substratum. Le Dr Magnin a montré en particulier les *contrastes en petit* présentés par les Lichens calcicoles et silicicoles sur certains poudingues des environs de Lyon.

Il n'est pas jusqu'aux Champignons qui, selon le Dr L. Quélet (1875) notamment, auraient (certaines espèces tout au moins) des rapports avec la nature du sol. Nous sommes persuadé, pour notre compte, qu'il existe aussi un rapport réel et impor-

(1) Études géologiques sur les Monts Lyonnais, 1898.

tant entre certains Champignons et Lichens épiphytes et la composition chimique des troncs d'arbres morts ou des débris organiques sur lesquels ils se développent. Nous allons même plus loin, et nous nous joignons à Emile Laurent pour affirmer que non seulement les saprophytes, mais aussi les parasites sont influencés par la composition chimique de la plante qui les nourrit ou du sol qui porte cette plante.

Nous aurons l'occasion d'en reparler.

L'influence chimique du calcaire n'est pas annihilée par le climat. — Exemples tirés de la flore du Midi. — Quelques naturalistes pensent toutefois que le contraste entre la flore calcicole et la flore calcifuge est surtout prononcé dans le Nord, à cause des propriétés calorifiques différentes entre les sols siliceux et les sols calcaires, mais que dans le Midi, sous l'action d'une température élevée, les plantes sont indifférentes à la nature du sol.

Ainsi, le Nombril de Vénus (*Umbilicus pendulinus*), *silicicole* dans nos régions, devient *indifférent* dans le Midi, puisque plusieurs botanistes autorisés (Dr Saint-Lager, Alfred Faure, etc.) affirment l'avoir observé sur les calcaires des environs de Nice, de Montpellier et en Algérie. Cependant, l'objection ne s'applique qu'à des cas exceptionnels, comme celui que nous venons de citer ; et, d'ailleurs, pour y répondre victorieusement, nous ne pouvons mieux faire que de rappeler les observations de Gautier et Flahault dans l'Hérault et l'Aude.

Gautier, décrivant en 1888 (*Soc. bot. de Fr.*, sess. extraord. à Narbonne) la flore si intéressante des *pinèdes* de Boutenac, près Narbonne, a remarqué que ces collines arrondies et stériles, généralement siliceuses (grès siliceux), sont couvertes de Pins maritimes avec presque tous les Cistes de France, espèces ou hybrides. Seuls, *Cistus Monspeliensis*, *albidus*, *salvifolius*, croissent indifféremment sur la silice, sur le calcaire ou la dolomie (?). Parmi les autres plantes silicicoles des pinèdes, Gautier cite : *Lavandula stœchas*, *Calycotome spinosa*, *Erica cinerea*, *scoparia*, *Jasione montana*, etc. Sur un point seulement, *où apparaît le calcaire jurassique*, le contraste entre les deux flores silicicole et calcicole devient frappant; les

plantes silicicoles susdites disparaissent complètement et sont remplacées par des espèces calcicoles : *Erodium petræum*, *Alyssum spinosum*, *Laserpitium gallicum*, *Silene italica*, *Antirrhinum majus*, *Dianthus virgineus*, *Bupleurum fruticosum*, *Sedum dasyphyllum*, *Lactuca viminea*, etc.

Quant à Flahault, dans ses intéressantes *Herborisations dans la région de Montpellier*, il a très bien étudié la flore des garrigues, de la plaine, et des bois siliceux de la région méditerranéenne. Les garrigues sont des collines calcaires au sol aride, rocailleux et mouvementé. On n'y voit aucune essence arborescente ; mais malgré l'aridité du sol on y observe néanmoins 800 espèces végétales ! Flahault insiste sur la différence des flores entre les garrigues et les bois siliceux.

Ces derniers notamment, peu étendus d'ailleurs, présentent toujours, quel que soit l'état physique de la roche siliceuse, certains caractères communs de végétation : Bruyères (*Erica arborea, scoparia, cinerea, Calluna vulgaris*), *Lavandula stœchas*, *Ulex parviflorus*, *Genista candicans*, *Calycotome spinosa*, *Cistus crispus*, *ladanifer*, *laurifolius*, *populifolius*, *nigricans*, etc.

Les espèces suivantes ne se rencontrent *jamais*, d'après Flahault, *en dehors des bois siliceux* : *Pinus maritima*, Châtaignier, et un certain nombre de plantes herbacées dont il donne la liste, en précisant les localités siliceuses les plus intéressantes.

Au surplus, beaucoup de botanistes, et nous sommes entièrement de leur avis, ont proclamé l'indépendance de l'influence chimique du sol et de l'influence du climat.

« Les terrains tourbeux, disait déjà Unger, ont une végétation toute spéciale, et leur influence est telle qu'on rencontre les mêmes espèces sur les tourbières de toute l'Europe ; comme si l'influence du sol était prépondérante sur celle du climat lui-même ».

P. Fliche (*Bull. Soc. bot. de France*, 1889) fait remarquer aussi, au sujet de l'influence chimique du sol, que l'*Asplenium septentrionale*, plante silicicole des montagnes et des climats froids, peut en Corse, comme dans l'Hérault, descendre dans la région chaude, à condition d'y trouver toujours des roches non calcaires.

De même, le Dr Saint-Lager a fait observer que plusieurs plantes montagnardes, telles que: *Arnica montana, Calluna vulgaris, Scirpus cæspitosus, Nardus strictus, Blechnum boreale, Lycopodium clavatum*, etc.. peuvent vivre sur les collines basses et même dans les plaines, lorsqu'elles trouvent dans le sol des *conditions chimiques* qui leur conviennent, et il cite des localités à l'appui de ses assertions (1).

Suppléance d'actions. — Baichère a remarqué dans le Cabardès et le Minervois (versant méridional de la Montagne-Noire) que la nature du sol exerce sur la répartition des espèces une influence qui prime les conditions d'altitude ; c'est ainsi que certaines espèces ne dépassent pas 300 mètres sur le granite, tandis qu'elles abondent sur le calcaire jusqu'à 630 mètres.

Mais, ici, ce sont les conditions chimiques et physiques réunies qui interviennent. Ainsi telle plante indifférente du Nord descendra, en effet, plus au Sud sur le granite que sur le calcaire, parce que le granite est plus froid que le calcaire ; et réciproquement telle autre plante méridionale indifférente remontera plus au Nord sur les calcaires que sur le granite.

C'est ici qu'intervient la théorie de la *suppléance* du Dr A. Magnin (A. F. A. S., Toulouse, 1887, p. 253) : « Les diverses influences, dit-il, peuvent se *suppléer*, dans une certaine mesure, par un phénomène de même ordre que celui qu'on observe chez les plantes hygrophiles de la plaine devenant xérophiles à de plus hautes altitudes et inversement ; de même une plante silicicole pourra croître accidentellement dans un sol calcaire, mais frais, l'influence de l'humidité contre-balançant celle nuisible de la chaux, etc. Cette explication a le mérite de tenir compte de tous les facteurs ; elle permet, en particulier, d'expliquer comment des plantes calcicoles dans le Nord de la France deviennent indifférentes dans le Midi, sans qu'il soit nécessaire pour cela de refuser toute part à l'influence chimique du sol ».

---

(1) V. *in* : *Catalogue des plantes du bassin du Rhône*, les remarques à propos de chacune de ces espèces.

Suprématie de l'influence chimique du sol. — Empressons-nous d'ajouter toutefois que les restrictions que nous venons d'énoncer sont exceptionnelles et ne s'appliquent qu'à un petit nombre d'espèces non exclusives, ou dont les appétences sont moins impérieuses. En règle générale, pour la grande majorité des plantes non ubiquistes, la composition chimique du sol exerce, dans les limites de l'aire de dispersion de l'espèce, une influence souvent prépondérante sur le climat, sur l'altitude et, enfin, sur les propriétés physiques du sol. J. Vallot a, en effet, cité, dans son excellent ouvrage sur la *Terre végétale*, de nombreuses plantes silicicoles ou calcicoles parfaitement indifférentes à la constitution physique du sol, et très sensibles par contre au moindre changement dans la composition chimique.

«L'influence des propriétés physiques du sol, disaient Malaguti et Durocher, est fort grande, on ne peut le nier; mais il nous paraît irrationnel de lui attribuer un rôle exclusif; il nous semble qu'il y a simultanéité ou concomitance des deux sortes d'actions. Il est à remarquer, d'ailleurs, que dans les plantes spéciales aux terrains calcaires, il en est qu'on trouve à la fois sur les marbres cristallins des terrains anciens, sur des calcaires compacts ou oolithiques, sur des terrains marneux, et sur des calcaires friables ou arénacés de l'époque tertiaire, quoique les propriétés physiques de ces divers sols soient fort différentes; et dans ce cas, il semble difficile de contester que le cantonnement de ces plantes dans les bassins calcaires ne dépende d'une influence chimique ».

Le Dr Gillot, tout en reconnaissant, lui aussi, la part des influences physiques, telles que les états de division des roches, leur hygroscopicité, l'exposition, l'insolation, etc., est d'avis que « ce sont des influences limitées *stationnelles* et subordonnées à l'influence chimique prépondérante ».

Nous adoptons et professons pleinement la doctrine de ces derniers auteurs; et, à propos de ces anomalies imputables au climat, aux propriétés physiques du sol, nous sommes amené à reviser les principales exceptions et objections à la doctrine de l'influence chimique. Mais, auparavant, nous résumerons

brièvement les observations qui prouvent l'influence chimique exercée sur les plantes par quelques sels du sol autres que le carbonate de chaux.

2° INFLUENCE DU CHLORURE DE SODIUM

(FLORE SODICOLE)

L'influence du sel est universellement reconnue. — De temps immémorial, les botanistes herborisants et les habitants des bords de la mer et des régions salifères, ont remarqué que la présence du chlorure de sodium dans le sol est toujours révélée par une flore spéciale.

L'influence chimique du sel marin sur les plantes est tellement évidente que tous les botanistes, sans exception, ont été obligés de l'admettre. De Candolle, Thurmann lui-même, et d'autres adversaires de la doctrine chimique, ont fait une exception en faveur du sel marin.

Contejean a indiqué, à ce propos, que l'influence du sel marin est plus générale, plus intense, plus absolue encore que celle de la chaux.

Flore des terrains salés. — Les terrains salés, en effet, se couvrent de certaines espèces dont beaucoup même, comme on l'a depuis fort longtemps remarqué (1), prennent des formes assez caractéristiques dans leur feuillage court et épaissi, comme les *Salsola*, *Salicornia*, etc. D'autres Atriplicées, quelques Crucifères (*Crambe* et *Cakile*), quelques Primulacées (*Samolus* et *Glaux*), des *Statice*, plusieurs *Chenopodium*, etc., abondent aussi sur les bords de la mer. Ces mêmes plantes (*Glaux maritima*, *Plantago maritima*, *Trigloclin maritimum*, *Atriplex rosea*. *Polypogon Monspeliensis*, *Glyceria distans*, etc.), se retrouvent, au grand étonnement du botaniste ignorant de la physiologie, à cent lieues de l'Océan, près des sources minérales salées de la Savoie, du Jura, de l'Auvergne, etc.

Parmi les auteurs qui se sont occupés, ces dernières années,

(1) Adrien de Jussieu. *Botanique*, 1862, p. 546.

de l'influence chimique du *chlorure de sodium* sur les plantes, nous devons citer P. Lesage qui, en 1890, dans un travail remarquable, a étudié comparativement, par l'observation et l'expérience, les variations imputables au sel marin. Nous en reparlerons à propos des preuves expérimentales.

3° INFLUENCE DE LA POTASSE

(FLORE KALIPHILE OU KALICOLE)

Existence probable de plantes kaliphiles. — L'influence chimique de la potasse n'est pas encore démontrée d'une façon certaine. Néanmoins, certains auteurs, parmi lesquels Nérée Boubée dès 1847, puis plus récemment Saint-Lager, A. Magnin, Viviand-Morel, etc., considèrent qu'il y a certainement des plantes kaliphiles, qui se trouvent en sols siliceux non pas peut-être parce qu'elles redoutent le calcaire, mais surtout parce que dans ces sols siliceux seulement elles trouvent la quantité de potasse qu'elles exigent, potasse dont l'absorption se fait alors librement sans être gênée par le calcaire.

Ainsi, Viviand-Morel, se basant sur ce fait que certaines plantes silicicoles (*Cistus salvifolius, Lychnis viscaria, Genista linifolia, Potentilla argentea, Selinum carvifolia, Valeriana tripteris, Senecio adonidifolius*, etc.), se cultivent bien dans les jardins où l'eau, le sol et le compost sont calcaires, pense que ce sont peut-être des kaliphiles plutôt que des calcifuges exclusives.

Le Dr Saint-Lager considère comme kaliphiles le Genêt à balai, les Bruyères, la petite Oseille, la Digitale pourprée, la grande Fougère, et d'autres plantes dites silicicoles.

Nous adoptons pleinement cette opinion, qui demanderait, nous l'avouons, à être appuyée par des expériences.

Empressons-nous d'ajouter que cette preuve expérimentale est à moitié faite, car nous connaissons plusieurs plantes qui nous ont été révélées kaliphiles par la culture et par l'analyse de leurs cendres, telles que la Vigne, la Betterave, les Navets, l'Absinthe, les Pommes de terre, et, parmi les arbres, le Chêne et l'Érable d'après Henry. D'autre part, les travaux de Georges Ville nous ont révélé que beaucoup de Légumineuses,

le Lin, la Pomme de terre, etc., exigent de fortes doses d'engrais potassiques. Toutes ces plantes, dont la *dominante* est la potasse, sont sans doute des kaliphiles; et il y en a probablement d'autres que nous ne connaissons point encore.

4° INFLUENCE DU TALC, DU GYPSE ET DE LA DOLOMIE

Il n'y a pas de flore talcicole, gypsicole et dolomiticole. — De nombreuses observations ont été faites sur l'influence du gypse (Macchiati, etc.) et de la dolomie. Déjà Franklin en Amérique, à la fin du XVIII[e] siècle, ayant tracé le mot *plâtre* avec du sulfate de chaux sur un champ des environs de Washington, vit ce mot reproduit en relief par les plantes qui poussèrent davantage sous l'influence de ce sel. Y a-t-il des plantes spéciales aux terrains gypseux ? Il est probable que non, et que l'action du plâtre s'exerce d'abord sur le sol et secondairement sur les plantes. Nous en reparlerons d'ailleurs au chapitre des applications (1).

Il en serait de même pour la dolomie. Dunal et J.-E. Planchon, entre autres, ont cru trouver toute une série de plantes dolomiticoles sur les terrains magnésiens du Gard et de l'Hérault. Mais, d'après les vérifications opérées par des botanistes non moins autorisés, le D[r] Saint-Lager notamment, ces plantes spéciales à la dolomie se réduiraient à deux ou trois espèces douteuses, toutes les autres étant de simples calcicoles ou indifférentes.

Les plantes *talcophiles* de Perrier de la Bathie, qui manquent sur le terrain anthraxifère de la Savoie, sont en réalité des plantes silicicoles ou indifférentes (V. A. Magnin. *Végétation des Alpes*).

En somme, les terrains talqueux, gypseux et dolomitiques portent une flore très analogue à celle des sols calcaires, et il n'y a pas, à proprement parler, de plantes talcophiles ou talcicoles, gypsophiles ou gypsicoles, dolomitophiles ou dolomiticoles.

---

(1) «Le sulfate de calcium n'empêche nullement la végétation des Sphaignes plantes bien connues comme calcarifuges» (Gasser et Maire).

5° INFLUENCE DES SELS DIVERS

Flore des sols pyriteux, barytifères, etc. — Les terrains qui renferment une trop forte proportion de *pyrites de fer et de cuivre*, de sels de *manganèse*, de *baryte*, etc., portent une flore extrêmement pauvre et maladive. Aux environs de Lyon, les terrains souillés ou modifiés par les déblais des mines de Sain-Bel, et les alentours des filons barytifères de l'Argentière, Vaugneray, etc., ne nourrissent que quelques rares végétaux complètement rabougris et chlorosés, tels que *Robinia pseudo-acacia*, *Tussilago farfara*, etc.

Flore des sols ferrugineux. — Selon Contejean, qui a étudié spécialement les affleurements ferrugineux de la Franche-Comté (Laissey, Deluz, Dampjoux, Chamesol, Montbéliard), de la Suisse (Délémont), de l'Auvergne, etc., le fer n'aurait aucune action spéciale. Par contre, certains auteurs ont indiqué une florule des eaux (certaines Algues) et des sols ferrugineux (certaines Roses, notamment *Rosa gallica* et ses formes, hybrides, etc.).

Flores de divers autres sols. — On sait que l'influence chimique des sels de zinc est contestée. L'observation rapportée par Braun, relative à la *Viola calaminaria*, est isolée.

Les sols (terres volcaniques) ou les eaux (eaux sulfureuses) contenant du soufre possèdent quelques plantes spéciales (Beggiatoacées, *Sulfuraria*, *Clathrocystis*, *Bacterium sulfuratum*, etc. ; certaines Linaires, etc.).

Rappelons enfin que les lieux phosphorés et azotés ont aussi une flore spéciale (flore nitricole) : *Urtica*, *Parietaria*, plusieurs *Polygonum*, *Atriplex*, *Chenopodium*, etc.

Toutefois, le phosphate tricalcique, qui est abondant dans certains sols (sables et craie phosphatés, etc.) et qui peut, sous l'action de l'eau de pluie chargée d'anhydride carbonique, se transformer partiellement en phosphate monocalcique soluble, ne semble pas avoir une action spéciale sur les calcifuges.

En définitive, l'influence chimique du sol est donc démontrée sans conteste par l'observation qui nous a révélé l'existence de plantes calcicoles, silicicoles ou calcifuges, sodicoles, kalicoles, ferricoles, sulphuricoles, nitricoles, etc.

6° EXCEPTIONS ET ANOMALIES

(CONTRASTES EN PETIT, COLONIES HÉTÉROTOPIQUES)

Dans une localité donnée, il est fréquent de rencontrer certaines espèces paraissant comme égarées, dépaysées, et que l'on s'empresse, en général, de citer à l'encontre de la doctrine chimique. Les plantes qui semblent ainsi faire exception aux principes développés plus haut ont été décrites sous le nom de *contrastes en petit* par THURMANN et le Dr MAGNIN, et de *colonies hétérotopiques* par le Dr GILLOT. Nous disons : qui *semblent* faire exception, car, disons-le de suite, dans tous les cas de plantes citées comme anomalies (sauf de très rares exceptions, explicables d'ailleurs, comme nous le verrons), l'examen attentif a permis de découvrir une erreur due à l'une des causes suivantes: 1° inattention on ignorance ; 2° roches siliceuses calcifères en elles-mêmes ou après décomposition ; 3° sols mixtes, artificiels ou erratiques ; 4° proximité des roches à composition différente ; 5° actions spéciales de suppléance.

1° Inattention ou Ignorance

Ces erreurs sont commises surtout, bien entendu, par les botanistes novices qui peuvent, soit confondre une espèce avec une autre (déterminations inexactes), soit prendre un hybride pour une espèce, soit confondre une roche calcaire et une roche siliceuse, etc. Mais il n'est même pas impossible que des faits inexacts aient pu être énoncés et soutenus par quelques botanistes expérimentés, involontairement, cela va sans dire. Voici les principales de ces erreurs involontaires :

a. **Déterminations à distance.** — Dans certains cas, la plante rebelle ou indifférente à l'influence chimique n'a été vue que de loin, en passant en chemin de fer ou en voiture, ou bien aperçue en haut d'une carrière ou du haut d'un talus ou d'un précipice ; on comprend, que dans ce cas, la détermination *à distance* puisse être inexacte.

Combien même de bons botanistes ont ainsi confondu, de

loin, certaines Fougères entre elles, certaines Gentianes avec des Campanules, etc.

b. **Plantes transplantées ou subspontanées.** — Dans d'autres cas, l'observateur n'a pas remarqué qu'il est en présence de plantes transplantées, apportées de main d'homme, ou seulement subspontanées. C'est ainsi que nous observons souvent le Pin noir d'Autriche, le Chêne chevelu (*Quercus cerris*), etc., qui sont des calcicoles préférentes, dans certaines stations siliceuses.

Nous avons observé nous-même de beaux pieds de Buis aux environs de Saint-Symphorien-sur-Coise, de Vaugneray (notamment dans le chemin montant à Saint-Bonnet-le-Froid). Vérification faite, cette espèce calcicole se trouvait là par introduction volontaire et artificielle de l'homme. A part les pieds ainsi apportés ou cultivés, aucune colonie, nous disons même aucun individu de *Buxus* ne s'observe à l'état spontané dans les régions granito-gneissiques. Au surplus, nous verrons, au chapitre de nos expériences personnelles, que les plantes exigeantes résistent mieux au changement de composition chimique du milieu par transplantation que par semis.

c. **Défaut de connaissances géologiques précises.** — Parfois aussi, trop souvent même, le botaniste manque de connaissances pétrologiques et géologiques suffisamment précises et détaillées, et il sera exposé de la sorte à confondre par exemple (ainsi que le Dr Saint-Lager et d'autres en ont signalé des exemples) des quartzites blancs avec des calcaires, etc.

Lorsque A. de Candolle affirmait (*Géog. bot.*, t. I, p. 433 et 427) que «*Silene Vallesia* et *Valeriana saliunca* croissent sur le Mont Ventoux, montagne *essentiellement calcaire* ; et que le Châtaignier des collines calcaires de l'Hérault et du Gard vient sur un calcaire jurassique, de même que sur les pentes du Revermont, dans le département de l'Ain », il montrait l'insuffisance des connaissances géologiques de son époque. Il est bien connu, en effet, depuis les observations faites en 1848, par Dunal de Montpellier et par les géologues Emilien Dumas et Paul de Rouville, que les Châtaigneraies de la vallée de Saint-Guilhem-le-Désert, dans l'Hérault, se trouvent établies sur une

couche composée d'argile et de nodules siliceux résultant de la désagrégation des dolomies jurassiques.

Il est certain, dit encore le Dr Saint-Lager, que les bois de Châtaigniers qui existent en plusieurs parties des collines jurassiques du département de l'Ain, dans le Revermont, sur les pentes urgoniennes et néocomiennes du Jura et du Vuache, sont établis sur des dépôts erratiques d'origine alpine. Enfin, le Mont Ventoux n'est pas entièrement composé de carbonate de chaux, car on y voit des bandes de grès verts alternant avec les calcaires crétacés.

Comme autre exemple démontrant la nécessité de connaissances géologiques solides et précises, nous citerons les quartzites et les cargneules intercalés dans les marnes, les gypses et les calcaires du trias des Alpes. C'est précisément sur ces cargneules (1), comme l'a remarqué Lachmann, que croît le *Rhododendron ferrugineum*, sur la pente occidentale de la montagne de Chamrousse, au-dessus d'Uriage (Isère). Dans ce cas, le Rosage ferrugineux vit donc dans une terre non calcaire enfermée dans une série de *pots* calcaires. Les botanistes qui ne seraient pas informés de la structure des cargneules et de la composition de la terre contenue dans leurs cavités seraient certainement portés à déclarer que, sur les flancs de la montagne de Chamrousse, le *Rhod. ferrugineum* vient sur une roche calcaire.

Le Dr Magnin s'est d'ailleurs assuré que la terre des stations soi-disant calcaires du *Rhod. ferrugineum*, observées sur les sommets du Jura, ne fait aucune effervescence avec les acides.

d. **Sous-sol chimiquement différent du sol.** — Enfin, le botaniste doit se préoccuper de savoir si le sol mince ne recouvre pas un sous-sol de composition chimique différente. Le Dr Magnin a signalé un exemple d'erreur de ce genre. Il a trouvé le *Quercus cerris*, calcicole, à la lisière orientale de la

(1) Ces cargneules sont des calcaires magnésiens cloisonnés, dans les cavités desquels se trouve ordinairement une terre ferrugineuse presque dépourvue de carbonate de chaux.

forêt de Chaux, sur le pliocène siliceux, mais en un point où ce pliocène siliceux ne forme qu'un sol de revêtement fort mince à la surface des calcaires jurassiques sous-jacents. Dans la forêt de Fontainebleau, au milieu des grès et de leur flore silicicole, on observe sur le Plateau de Bellecroix et la Butte Saint-Louis, grâce à la présence du calcaire de Beauce qui est simplement caché sous une pellicule de limon, une flore nettement calcicole avec exclusion complète des silicicoles.

Telles sont les principales erreurs que l'on peut commettre par inattention ou ignorance.

2° Roches siliceuses calcifères

a. **Roches siliceuses calcifères en elles-mêmes. — Calcite dans les roches siliceuses.** — Un certain nombre de roches éruptives et siliceuses contiennent souvent, disséminé dans leur masse au milieu des autres cristaux, ou concentré en certains points dans des géodes ou des fentes, du carbonate de chaux sous forme de cristaux de calcite.

C'est ainsi que, dans la région lyonnaise notamment, nous avons nous-même observé des cristaux de calcite, visibles à l'œil nu, dans les roches porphyriques ainsi que dans les schistes et gneiss amphiboliques. Nous avons pu recueillir de ces cristaux dans les amphibolites du Reynard (route de Saint-Symphorien-sur-Coise à Sainte-Foy-l'Argentière) et du Fresnay (près Saint-Symphorien). De même, nous avons souvent remarqué des fentes remplies, après coup sans doute, par des lits et des veines de calcite, notamment dans les porphyres microgranulitiques de la Thénaudière près Saint-Symphorien, de Valfleury près Rive-de-Gier, de Bellegarde près Chazelles-sur-Lyon, etc. Et ces cristaux ou dépôts de calcite cristallisée étaient assez abondants pour permettre la présence dans les susdites localités (et dans d'autres qui certainement nous ont échappé) de toute une florule calcicole formant ainsi des colonies hétérotopiques : *Helleborus fœtidus*, *Anthyllis vulneraria*, *Helianthemum vulgare*, *Teucrium chamædrys*, etc.

La découverte que nous avons faite, en 1895, des calcaires cipo-

lins, près Sainte-Catherine-sur-Riverie, est également intéressante au point de vue qui nous occupe. Ces calcaires cipolins imprègnent les gneiss de cette localité, qui sont en effet calcarifères ; la calcite existe d'ailleurs dans beaucoup de gneiss amphiboliques et pyroxéniques signalés dans la région de Mornant, Riverie, etc.

La présence de ces cipolins et de ces cristaux calciques détermine la végétation de quelques espèces calcicoles, parmi lesquelles nous pouvons citer: *Buxus sempervirens*, *Helleborus fœtidus*, *Convallaria polygonata*, *Verbascum thapsus*, *Anthyllis vulneraria*, *Mercurialis perennis*, *Ceterach officinarum*, *Asplenium Halleri*, etc.

Le Dr Gillot a signalé aussi dans la région autunoise des quartzites dévoniens renfermant de la calcite. D'ailleurs, les cristaux calciques des roches siliceuses ne sont point, tant s'en faut, toujours visibles à l'œil nu et même à la loupe ; la plupart sont microscopiques et ne peuvent être révélés que par l'étude de la roche en plaques minces au microscope polarisant, ainsi que le démontrent les analyses des roches lyonnaises effectuées par Lacroix à l'occasion du travail de A. Riche sur le Plateau lyonnais.

b. **Roches siliceuses calcifères après décomposition.** — Beaucoup de roches siliceuses, éruptives ou métamorphiques portent en elles-mêmes, en quelque sorte, le germe du calcaire qui permettra plus tard l'apparition des plantes hétérotopiques à leur surface.

Minéraux calcifères des roches. — Énumération. — Dans les roches éruptives, les minéraux calcifères sont principalement les suivants : les plagioclases ou feldspaths calciques (albite, 2 à 3 o/o de chaux ; oligoclase, 1 à 6 o/o ; andésine et labrador, 6 à 13 o/o ; anorthite, 15 à 19 o/o), et de nombreux silicates des roches acides (cordiérite, qui contient quelquefois un peu de chaux ; sphène, silicotitanate de chaux ; axinite, 12 à 15 o/o de chaux, etc.) et surtout des roches basiques (pyroxènes diopside et diallage, 25 o/o ; pyroxène augite, 18 à 23 o/o ; amphibole trémolite, 12 à 15 o/o ; amphi-

bole actinote, 14 o/o; amphibole hornblende, 13 à 23 o/o ; etc.) ; enfin, les zéolithes calciques des roches basiques.

Gisement des minéraux calcifères. — L'*albite*, $Na^2Al^2Si^6O^{16}$, existe en filon dans les roches primitives ; la variété *péricline* s'observe dans certains schistes chloriteux.

L'*oligoclase*, $(Ca,Na^2)^2Al^4Si^9O^{26}$, ou feldspath sodico-calcique, se rencontre en quantité variable dans un très grand nombre de roches éruptives : granites, granulites, porphyres, orthophyres, etc.

L'*andésine*, plus riche en chaux que l'oligoclase, est assez répandue dans les roches porphyriques (porphyrites andésitiques) et surtout dans les trachytes.

Le *labrador*, $(Ca,Na^2)\ Al^2Si^3O^{10}$, ou labradorite, est peu abondant dans les roches basiques de nos régions. Il donne par altération la *saussurite*.

L'*anorthite*, $Ca^2Al^4Si^4O^{16}$, est par excellence le feldspath basique et calcaire. Ce minéral existe dans beaucoup de roches basaltiques et laviques.

La *cordiérite* ou *dichroïte*, qui contient parfois accidentellement de la chaux, est très abondante dans beaucoup de gneiss (gneiss à cordiérite du Lyonnais, etc.).

Le *sphène*, $CaTiSiO^5$, ou *titanite*, qui existe en cristaux bruns microscopiques ou parfois visibles à la loupe et même à l'œil nu, est disséminé dans beaucoup de granites, gneiss, syénites, etc.

L'*axinite*, rare dans nos régions, est associé au grenat et à la tourmaline dans les roches du Cornouailles, de l'Oisans, des Pyrénées, de la Saxe, etc.

Les *pyroxènes* $(Ca,Mg,Fe)SiO^3$ *diopside* et *diallage* se trouvent en lamelles dans les euphotides, gabbros et serpentines. L'*augite* abonde en cristaux noirs dans les roches et tufs volcaniques, et en masses fibreuses vertes caractéristiques dans les diabases, pyroxénites (pyroxénites de Duerne, de Mornant, etc.) et autres roches basiques.

Les *amphiboles*, $(Mg,Ca,Fe)^8Si^9O^{26}$, se trouvent : la *trémolite* dans les micaschistes, l'*actinote* dans les schistes chloriteux et

la serpentine ; la *hornblende*, qui est la plus commune, est l'élément principal des diorites, syénites et amphibolites ; la variété *basaltine* est fréquente dans les basaltes et leurs tufs.

Les *zéolithes* calciques, très nombreuses, se trouvent abondamment, sous forme de petits prismes ou cristaux altérables, dans toutes les roches volcaniques amygdaloïdes de l'Auvergne, du Wurtemberg, du Tyrol méridional, etc.

Les roches métamorphiques contiennent aussi un grand nombre de silicates alumino-calciques, et notamment les grenats (grenat grossulaire, 37 o/o de chaux ; grenat almandine, plus pauvre en chaux), l'épidote (19 à 24 o/o), et d'autres minéraux tels que l'apatite (91 à 92 o/o de phosphate de chaux), la fluorine, etc.

Les *grenats*, silicates d'alumine, de fer et de chaux, sont extrêmement répandus dans les gneiss, micaschistes, chloritoschistes, etc., et aussi dans les granulites, pegmatites et éclogites.

L'*épidote*, de couleur vert bouteille ou vert pistache, est fréquente dans certaines roches métamorphiques du Dauphiné ; nous l'avons observée dans les schistes chlorito-amphiboliques de la vallée de la Brevenne, près Lyon.

L'*apatite* est extrêmement abondante, en cristaux généralement microscopiques, dans les roches éruptives et métamorphiques.

Décomposition et carbonatation des minéraux calcifères. — Tous ces minéraux calcifères des roches siliceuses se transforment lentement, par altération (sauf l'apatite), en carbonate de chaux ou calcaire, sous l'action de l'acide carbonique qui déplace l'acide silicique. La formation de ce carbonate de chaux est accélérée ou même provoquée par l'action propre des racines des plantes, et l'on peut conséquemment observer souvent, au milieu des roches dites siliceuses, des plantes calcicoles préférentes. Les botanistes doivent toujours soupçonner et rechercher ces minéraux calciques, dont ils ignorent souvent la composition et la présence.

Exemples principaux de sols siliceux calcifères. — Albert Le Play avait déjà démontré, en Limousin, que le gneiss décomposé contient un peu de chaux.

« Si vous rencontrez, a dit Unger, quelquefois accidentellement, sur le granite ou le gneiss, des *plantes calcaires*, un examen plus approfondi de la roche vous expliquera leur présence. C'est ainsi qu'ayant observé le *Seslera cœrulea* sur la hornblende et le *Gypsophila repens* sur le granite, je m'assurai que ces deux roches faisaient effervescence avec les acides ».

Nous devons faire observer que le granite vrai ne fait jamais effervescence avec les acides ; Unger a sans doute désigné une autre roche sous le nom de granite.

A. Legrand a rapporté aussi que sur les granites renfermant de l'albite, on remarque la présence de plantes calcicoles : *Digitalis lutea*, *Teucrium Botrys*, etc.

Parisot a attribué les plantes calcicoles qu'il a observées en Bohême, sur des roches volcaniques et siliceuses, à la décomposition du labrador et du pyroxène de la dolérite, car, dit-il, « la terre végétale fait effervescence aux acides ».

De nombreux faits de ce genre ont été aussi relevés et signalés par les Drs Ant. Magnin et Saint-Lager.

Le Dr Gillot a fait remarquer aussi que les granulites à mica noir sont souvent riches en oligoclase et en apatite, et donnent une terre contenant de la chaux. Plusieurs botanistes lyonnais (Perroud, Cusin, etc.) et nous-même avons observé des cas analogues. Dans les granulites de la région de Pélussin par exemple, ainsi que sur certaines granulites et pegmatites du Lyonnais, on trouve parfois *Digitalis parviflora*, *Asplenium Halleri*, etc. Ces stations anormales ne prouvent point que les plantes en question ne sont pas préférentes ou exigeantes, mais seulement que le sol contient une dose de calcaire suffisante pour leur permettre de vivre.

« Dans le Haut-Tatra (Karpathes), particulièrement dans les chaînes de Lomnitz, de Schlagendorf et de Gerlsdorf, existent, d'après Sagorski et Schneider (1891), des roches granitiques dont le feldspath contient jusqu'à 10 o/o de chaux et qui se décomposent facilement par l'action des agents atmosphériques. C'est précisément sur ces roches décomposées qu'on voit apparaître des plantes calcicoles ».

Par contre, les analyses chimiques et les observations minutieuses de Chatin, Contejean, Ravaz, Vallot, etc., ont montré

que tous les sols soi-disant calcaires, sur lesquels on observe des Châtaigniers, Bruyères, Fougères, etc., ne contiennent que des quantités très minimes de chaux (5 à 6 o/o tout au plus).

R. Braangart a vérifié dans la région hercynienne l'influence de la chaux; c'est ainsi qu'il a observé des plantes calcicoles sur les terrains volcaniques à augite et même sur les granites à oligoclase.

Beille (1889) a étudié les plantes calcicoles observées sur les roches volcaniques. Il a fait remarquer, à ce propos, que les plantes hétérotopiques se trouvent seulement sur les roches profondément décomposées, tandis que la roche encore intacte ne porte que des silicicoles. On sait, en effet, que la terre provenant de la décomposition des basaltes et autres roches volcaniques contient souvent assez de carbonate (8 à 12 o/o) et autres sels de chaux pour porter des plantes calcicoles.

En 1883, le Dr Perroud, herborisant dans les montagnes de l'Ardèche (*Ann. Soc. bot. Lyon*, t. XI, p. 112, etc.), a remarqué sur certains gneiss la présence de nombreuses calcicoles: *Trinia vulgaris*, *Bupleurum aristatum*, *Ceterach officinarum*, *Trifolium rubens*, *Teucrium chamædrys*, *Helleborus fœtidus*, *Berberis vulgaris*, *Pyrethrum corymbosum*, *Helianthemum vulgare*, *Carlina vulgaris*, *Cerasus corymbosa*, *Orchis simius*, *Aronia rotundifolia*, *Convolvulus cantabricus*, *Coronilla emerus*, *Achillea tomentosa*, *Sedum anopetalum*, *Inula montana*, *Fumana procumbens*, etc. Il attribué ces colonies anormales à l'existence d'éléments calcaires dans le sol résultant de la décomposition des gneiss.

Le Dr Ant. Magnin (*Ann. Soc. bot. Lyon*, t. XII, p. 119, etc.) a signalé aussi sur les gneiss qui affleurent à la base des coteaux lyonnais et viennois, aux alentours de Saint-Vallier et de Ponsas (Drôme), ainsi que sur les cornes vertes du bassin de l'Arbresle, un certain nombre de plantes calcicoles.

Nous avons nous-même confirmé ces observations, et avons relaté sur les gneiss amphiboliques et pyroxéniques, sur les schistes houillers de Sainte-Foy-l'Argentière et les schistes chloriteux de la Brevenne, la présence d'une flore mixte contenant les calcicoles suivantes: *Helleborus fœtidus*, *Helianthemum vulgare*, *Genista sagittalis*, *Eryngium campestre*, *Anthyllis*

vulneraria, *Teucrium chamædrys*, *Buxus sempervirens*, *Melica ciliata*, *Rumex scutatus*, *Bupleurum falcatum*, *Artemisia campestris*, *Ceterach officinarum*, *Stachys recta*, *Andropogon ischæmum*, *Ruscus aculeatus*, *Verbascum thapsus*, etc.

Au surplus, nous avons remarqué, et la chose est manifeste, que les plantes calcicoles qui s'aventurent ainsi en sols siliceux, telles que *Ceterach officinarum*, *Anthyllis vulneraria*, etc., qu'on voit aux environs de Vaugneray, par exemple, sont très rabougries, de petite taille, sans toutefois se chloroser.

Dans le Haut-Beaujolais, à Brouilly, Beaujeu, etc., Marius Audin a signalé et étudié récemment la présence sur les schistes amphiboliques, les diorites et diabases, et sur les granites à amphiboles, d'un certain nombre de plantes calcicoles : *Melica ciliata*, *Vincetoxicum officinale*, *Helleborus fœtidus*, *Anthyllis vulneraria*, *Trifolium rubens*, *Libanotis montana*, *Inula conyza*, *Cirsium acaule*, *Campanula glomerata*, *Digitalis parviflora*, *Teucrium chamædrys*, *Rumex scutatus*, *Buxus sempervirens*, *Scilla bifolia*, *Ceterach officinarum*, *Peucedanum cervaria*, *Hypericum hirsutum*, *Mercurialis perennis*, *Berberis vulgaris*, *Althœa hirsuta*, *Trifolium medium*, *Coronilla varia*, *Dentaria pinnata*, *Onobrychis sativa*, *Leucanthemum corymbosum*, *Centaurea amara*, *Echinospermum lappulum*, *Melissophyllum silvaticum*. Or, Ladrey a analysé les porphyres quartzifères des vignobles de Thorins et Moulin-à-Vent, et y a trouvé : CO^3Ca, 8,9 o/o ; magnésie, 0,4 ; oxyde de fer, 11 ; silice insoluble, 81,68 o/o.

Beaucoup de botanistes (notamment Gillot, A. Magnin et nous-même) ont signalé la présence de calcicoles sur les sols provenant de la décomposition de toutes les roches orthophyriques et microgranulitiques.

Camusat, Ch. Quincy et Gillot ont suivi des schistes plus ou moins calcarifères rien qu'à l'aspect des épis bleus des Scilles, dans les environs du Creusot.

Arguments en faveur des plantes kaliphiles ou feldspathiques. — A ce sujet, Gillot considère comme simplement calcicoles, plutôt que calciphiles, non seulement les calcicoles vraies, mais encore quelques plantes des terrains siliceux dont

il donne la liste. Ces plantes trouveraient dans la décomposition des granites, tufs orthophyriques et porphyriques, l'élément alcalino-terreux calcaire ou phosphato-magnésien suffisant ; et comme cet élément provient des feldspaths, il appelle ces espèces *felspathiques*.

Bien avant Gillot, Saint-Lager avait émis l'idée des *plantes kaliphiles* qui, sans être absolument calcifuges ou calciphiles, seraient plutôt amies de la potasse. Cette catégorie, encore hypothétique, comprendrait les plantes silicicoles que l'on trouve parfois sur les sols peu calcaires, telles que le Genêt à balai, les Bruyères, la petite Oseille, la Digitale pourprée, la grande Fougère, etc., et quelques plantes calcicoles que l'on rencontre en sols siliceux, telles que les Scilles, le Noyer, etc ; en un mot, toutes les plantes qui renferment une forte proportion de potasse dans leurs cendres.

Saint-Lager, A. Magnin et nous-même avons attiré l'attention des botanistes sur l'influence probable de la potasse, du pyroxène, de l'apatite, etc. En ce qui concerne ce dernier minéral, qui ne se transforme pas en carbonate de chaux sous l'action des agents atmosphériques, il peut néanmoins, par suite de l'action propre des sucs des radicelles, être solubilisé et utilisé chimiquement par les plantes, leur fournissant ainsi une certaine dose de sels calciques.

Relations peu connues entre les plantes et les minéraux des roches. — Conclusions. — En définitive, on voit qu'il ne faut jamais se hâter de conclure à la fausseté de la doctrine chimique, parce qu'on observe des plantes ordinairement calcicoles sur des terrains siliceux. Sous ce rapport, nous sommes parfaitement de l'avis de MM. Saint-Lager, Magnin et Gillot, et nous affirmons qu'il existe des relations intimes encore peu connues entre certaines plantes et certains éléments pétrographiques des roches autres que le calcaire, par exemple les sels de potasse, de magnésie, etc. En poursuivant dans cet ordre d'idées des recherches méthodiques et expérimentales, on arrivera à expliquer des faits singuliers en apparence, et l'on pourra même, un jour, « dresser des listes de plantes d'après leur affinité pour tel ou tel élément minéralogique, par exemple en série progressive d'après la prépondérance crois-

sante des éléments alcalino-terreux, en première ligne, de la chaux. Il serait possible même, dans une certaine mesure, de conclure de l'aspect de la flore à la constitution minéralogique du sol, et réciproquement, au grand profit de la géographie botanique et de ses applications particulières à l'agriculture et à la naturalisation des végétaux».

3° Sols mixtes, erratiques et artificiels

α. Sols mixtes

Très souvent, le mélange local des plantes calcicoles et silicicoles est dû à l'existence d'un sol mixte, contenant des parties siliceuses, d'autres calcaires, et d'autres où le calcaire et la silice coexistent. Voici les principaux :

Sols mixtes des Alpes. — Certaines régions des Alpes sont extrêmement embrouillées au point de vue géologique. Dans la Haute-Maurienne (Saint-Lager, *Note sur quelques plantes de la Haute-Maurienne*, 1889) on trouve réunis des calcaires compacts, portant une flore franchement calcicole, des sables et éboulis granitiques à flore manifestement silicicole, et enfin des schistes lustrés, qui recouvrent de grandes surfaces en forme de bandes allongées et qui, étant formés de mica noir et de carbonate de chaux, ont une flore mixte, c'est-à-dire comprenant à la fois des plantes indifférentes et des calcicoles préférentes.

Terrains d'alluvions et de transport. — Les terrains d'alluvions et de transport récents présentent aussi une flore mixte. Tels sont les terrains d'alluvions, pliocènes et quaternaires, de la plaine et des coteaux dauphinois, au sud-est de Lyon. Quelques lits de poudingues dans ces alluvions présentent même des contrastes en petit, car l'on peut voir, ainsi que l'ont fait observer Debat, Saint-Lager, Magnin, etc., les éléments calcaires et les éléments siliceux de ces blocs de poudingues révélés infailliblement par des espèces respectivement calcicoles et silicicoles de Muscinées et de Lichens.

C'est ainsi que les dépôts de calcite cristallisée ou amorphe qui cimentent les cailloux siliceux des poudingues de Saint-

Fons, des Etroits, de Beaunant, etc., près Lyon, portent des espèces calcicoles, comme : *Adianthum Capillus-Veneris*, parmi les Fougères ; *Hypnum commutatum*, *Rhynchostegium tenellum*, *Trichostomum tophaceum*, *Eucladium verticillatum*, *Gymnostomum curvirostrum*, parmi les Mousses; *Solorina saccata*, *Lecanora calcarea*, *Verrucaria*, etc., parmi les Lichens.

Eboulis. — Les éboulis sur les pentes constituent encore un sol souvent mixte et trompeur.

Nous en citerons deux exemples régionaux : à la base du Mont-d'Or, près de Limonest (Rhône), et aux environs de Rochecardon, près Lyon, nous avons observé avec stupéfaction, sur les gneiss granulitiques et les micaschistes, un certain nombre de plantes calcicoles, telles que le Buis, l'Hellébore fétide, le Cétérach, etc.

Mais, en examinant les lieux avec attention, nous avons pu constater que le sol végétal est formé, non pas uniquement par du gneiss ou micaschiste décomposé, mais aussi par des éboulis de lœhm apporté là par les vents et les eaux ; or, on sait que le lœhm est toujours calcarifère.

Le *Rhododendron ferrugineum* se trouve, d'après les observations du Dr Saint-Lager, dans des localités relativement basses où cet arbrisseau a été apporté sur des blocs éboulés, ainsi qu'il est arrivé sur les bords des lacs Majeur, de Côme, d'Alpnach, de Thun, de Brienz, de Lowerz et d'Annecy. Tous les botanistes qui ont parcouru le bord oriental du lac d'Annecy ont remarqué, au nord du riant village de Talloires, dans la localité du Roc-de-Chère, de grandes dalles de grès nummulitique éboulées de la montagne voisine, sur lesquelles croît le Rosage ferrugineux en compagnie de Fougères, de Mousses et de Lichens manifestement silicicoles.

Sols de composition variable selon les localités. — Certains terrains sableux, tels que les sables miocènes de Saint-Fons et le lœhm lui-même, sont extrêmement trompeurs pour le botaniste géographe, car leur teneur en calcaire varie depuis quelques centièmes seulement (ils portent alors une flore silicicole) jusqu'à 60 et même 80 o/o comme, par exemple, le lœhm de

la Roussilière, près Limonest (on y observe alors une flore calcicole).

Terrains décalcifiés superficiellement. — Enfin, l'on peut voir inversement des plantes silicicoles sur des terrains calcaires décalcifiés. Tel est le cas du *ciret* du Mont d'Or lyonnais : cette roche recouvre les plateaux de Saint-Cyr et de Couzon, près Lyon ; elle est déjà peu calcifère, et en outre, les eaux finissent par la décalcifier complètement en dissolvant le calcaire. On y voit alors une flore indifférente, silicicole ou calcicole, selon les endroits. C'est pourquoi Debat, Cusin (*Ann. Soc. bot. Lyon*, 1876), ainsi que beaucoup d'autres botanistes lyonnais et nous-même, avons pu observer des Genêts, des Digitales pourprées, des Pins sylvestres, etc., sur ces calcaires bajociens, siliceux et impropres à la fabrication de la chaux, du ciret du Mont d'Or.

Godron a pu observer, de la sorte, des *Digitalis purpurea*, *Pteris aquilina*, etc., sur des chailles siliceuses oxfordiennes, dans la région jurassienne. De même, le Dr Magnin a indiqué *Orobus tuberosus* mélangé à *Orobus vernus* sur le bajocien décalcifié, en certaines localités du Jura.

« La pénétration des sels de calcium se faisant au niveau des racines, il est facile de comprendre que certaines espèces à racines traçantes pourront croître sur les roches calcaires, leur appareil radical restant toujours dans la zone superficielle décalcifiée par les pluies, tandis que d'autres, pourvues de racines pivotantes qui supporteraient en milieu liquide artificiel à peu près la même dose de sels calcaires que les précédentes, dépériront sur les roches en question, leurs racines plongeant dans les couches profondes où l'eau d'imprégnation est très calcarifère. On peut citer comme exemple le *Vaccinium myrtillus* et l'*Orobus tuberosus* dans le Jura » (Gasser et Maire).

Si donc, dit le Dr Saint-Lager « le Genêt à balai, la Bruyère commune et la grande Fougère apparaissent quelquefois çà et là dans les massifs calcaires, sur de petits espaces où le terrain a été en grande partie décalcifié, mais conserve encore assez de carbonate calcique pour faire effervescence avec l'acide

chlorhydrique, devons-nous cesser d'appeler silicicoles ces trois plantes qui, au su de tout le monde, couvrent en France et dans plusieurs autres pays de l'Europe de vastes territoires gneissiques, granitiques, schisteux et gréseux ?»

β. *Sols très restreints* : *Blocs erratiques, filons et lambeaux isolés, etc.*

Blocs erratiques. — La présence, parfois dissimulée, de blocs erratiques sur les calcaires du Bugey, du Dauphiné, etc., a souvent aussi induit en erreur les botanistes peu familiarisés avec la géologie de ces pays.

«On ne saurait contester qu'il soit très utile aux botanistes de savoir que l'*Asplenium septentrionale* est une Fougère silicicole, car, si pendant leurs excursions dans les massifs calcaires, après avoir vu sur les rochers de la contrée *Asplenium viride* et *Aspl. Halleri*, ils trouvent sur un rocher isolé *Aspl. septentrionale*, ils sauront aussitôt que celui-ci est un bloc erratique venu des Alpes. C'est ainsi que, au grand profit de leur instruction, apparaîtra dans leur esprit la notion du lien qui unit la botanique à la géologie». On peut remarquer ainsi, sur le Mont Salève, des blocs erratiques alpins qui portent des Fougères, des Mousses et des Lichens exclusivement silicicoles. On trouvera, dans la citation que nous avons donnée plus haut de la *Végétation du Jura* par le Dr Magnin, des exemples de ces faits.

Filons, dépôts sidérolithiques. — D'autres fois, l'on a affaire à des filons particuliers. Ainsi, sur plusieurs points du même Salève, notamment au-dessus de Cruseilles (Saint-Lager. *L'appétence chimique des plantes*), les crevasses du calcaire urgonien ont été ultérieurement remplies par des sources geysériennes qui y ont déposé des sables sidérolithiques. Or, la présence de ces dépôts est dénoncée aux botanistes par certaines plantes silicicoles, telles que : *Scleranthus perennis*, *Epilobium collinum*, *Filago minima*, *Betula alba*, *Deschampsia flexuosa*. Ce phénomène de silicification dans les calcaires urgoniens du Salève, du Vuache et de la chaîne du Jura s'observe aussi sur les calcaires jurassiques de l'Alb du Wurtemberg,

sur lesquels apparaissent alors des espèces silicicoles qui n'existent pas dans le reste du massif, comme *Sarothamnus vulgaris*, *Arnica montana*, *Digitalis purpurea*, *Betula alba*, *Luzula albida*.

Lambeaux isolés. — Quelquefois aussi, les colonies hétérotopiques reposent sur un tout petit lambeau, parfois peu visible, de terrain différent. Ainsi la petite chaîne calcaire des Voirons, au nord-est du Salève, est couverte, sur une partie de son sommet, d'une plaque de grès nummulitique, sur lequel précisément se trouve une petite colonie de *Rhododendron ferrugineum* avec *Sedum annuum*, *Carex pilulifera*, *Deschampsia flexuosa*, *Aspidium oreopteris*, *Pteris aquilina*, *Blechnum boreale*, *Lycopodium selago*, *Lyc. clavatum*. *L. annotinum* et *L. alpinum* (Saint-Lager).

Terrains embrouillés. — On sait que les Alpes, entre autres, ont des parties très embrouillées au point de vue géologique. Nous avons déjà cité précédemment le cas des schistes lustrés des Alpes, et celui des quartzites et cargneules de la chaîne de Belledonne.

Voici un autre exemple dû au Dr Saint-Lager : Sur les pentes occidentales de la longue chaîne étendue depuis le Mont Charvin, les Aravis jusqu'au Mont Méry, de même que de l'autre côté de la vallée du Reposoir sur les pentes du Mont Vergy, les calcaires crétacés alternent avec les sables du grès vert sur lesquels croît le *Rhod. ferrugineum*, accompagné de nombreuses silicicoles. Il en est de même en quelques points des massifs du Villard-de-Lans et de la Grande-Chartreuse, notamment entre Bovinant et le Grand-Som, où le Rosage vient sur les sables et grès verts, en société avec *Astrantia minor*, *Arnica montana*, *Gentiana punctata*, *Aspidium glandulosum* (*A. oreopteris*), etc.

γ. *Sols artificiels et divers*

Nous rangeons dans cette catégorie les erreurs dues aux dépôts de décombres et plâtras, au mortier plus ou moins dissimulé des vieux murs, au chaulage des terres, et enfin aux eaux calcaires d'infiltration ou d'irrigation.

Débris ou décombres ; boues, etc. — Les dépôts de décombres, plâtras et pierrailles calcaires des constructions, les débris environnant les gares de chemin de fer, les fours à chaux, ateliers de sculpteurs, les dépôts ménagers contenant des coquilles d'œufs, des débris de coquillages, de poteries, etc., occasionnent parfois en pays siliceux la présence, très localisée bien entendu, de plantes calcicoles paraissant isolées et égarées. Les botanistes devront toujours avoir présente à l'esprit cette cause d'erreurs.

Les boues de route, produits de trituration des empierrements, sont souvent répandues inégalement dans les champs, dans le but de les améliorer, de les colmater en quelque sorte. Or, souvent en pays siliceux les empierrements sont effectués avec des calcaires venus de loin, et réciproquement. Il n'en faut pas davantage pour permettre l'établissement de colonies hétérotopiques.

Mortier des murs. — Le mortier des murs, qu'il soit visible ou dissimulé, porte souvent aussi en pays siliceux une florule calcicole. C'est ainsi que dans les montagnes gneissiques du Lyonnais, nous avons observé, sur des vieux murs plus ou moins démantelés ou écroulés sur le sol, des *Euphorbia verrucosa*, *Ceterach officinarum*, *Funaria calcarea*, *F. hygrometrica*, *Rhynchostegium murale*, etc., dont la présence nous a été expliquée par le mortier altéré et carbonaté de ces murs, qui forme ainsi à ces plantes une sorte de sol calcaire artificiel.

Chaulage des terres. — Le chaulage des terres, au moyen de la poudre d'os en particulier, aujourd'hui si répandu dans les régions granitiques et notamment dans les Monts Lyonnais, forme aussi en certains endroits, lorsqu'il est pratiqué abondamment, un sol nouveau permettant l'établissement de plantes calcicoles. Nous rapportons à cette cause la présence assez commune de plusieurs plantes spontanées ou subspontanées, dans les gneiss du Lyonnais, telles que : *Onobrychis sativa*, *Anthyllis vulneraria*, plusieurs *Trifolium* calcicoles, *Euphorbia verrucosa*, *Inula hirta*, *Rubia peregrina*, *Sherardia arvensis*, *Eryngium campestre*, etc., etc.

A ce propos, nous devons faire remarquer que les progrès de l'agriculture, en vulgarisant l'emploi des engrais et la pratique des amendements calcaires, etc., tendent à faire disparaître, dans les pays civilisés et cultivés, et cela dans un avenir relativement proche, le contraste, encore bien marqué aujourd'hui, entre les flores silicicole et calcicole.

Eaux d'infiltration, d'irrigation et d'imprégnation. — Les eaux d'infiltration, d'irrigation ou de drainage, en s'écoulant du haut des collines calcaires sur les plateaux et les plaines siliceuses, apportent sans cesse de la chaux qui tend à se précipiter par suite de l'évaporation. Il n'en faut pas davantage pour favoriser parfois l'apparition de plantes calcicoles au milieu d'une localité siliceuse.

Les eaux d'imprégnation du sol peuvent également donner lieu à des surprises. En effet, « le calcimètre n'indique que le calcaire permanent; mais, sous certaines influences climatériques, cette dose de calcaire peut être considérablement augmentée quand le sol contient des pierrailles calcaires. Les eaux pluviales, toujours chargées d'anhydride carbonique, lavent ces pierrailles et se chargent, à leur contact, de bicarbonate calcique, qui imprègne le sol et est absorbé par les racines » (Gasser et Maire).

4° Proximité des roches à composition différente

Zone de voisinage de terrains différents. — Les plantes calcicoles peuvent quelquefois s'échapper pour ainsi dire des massifs calcaires et s'établir sporadiquement et accidentellement sur les sols siliceux d'alentour. C'est ainsi que, près de Lyon, la région granitique de Charbonnières, Lozanne, l'Arbresle, le Plateau lyonnais de Lyon à Givors, portent çà et là quelques colonies hétérotopiques de plantes calcicoles. Cela tient non seulement aux raisons déjà indiquées ci-devant, mais aussi à la proximité des terrains secondaires du Mont d'Or et du Bas-Beaujolais. Les chances d'établissement des plantes calcicoles sur un sol siliceux diminuent d'ailleurs, à ce point de vue, en raison directe de l'éloignement des régions calcaires.

5° Causes spéciales. — Suppléances d'actions, etc.

Suppléances d'actions (Dr A. Magnin). — Si certaines plantes, calcicoles dans une contrée, paraissent devenir indifférentes ou silicicoles en d'autres contrées, cela tend à prouver, comme le faisaient déjà remarquer Malaguti et Durocher, que dans la circonscription des végétaux, l'influence chimique joue un rôle prépondérant, mais non absolu, et que certaines plantes, en changeant de climat, se trouvent placées dans des conditions physiques différentes et peuvent ne plus avoir besoin d'un sol aussi riche en CO^3Ca. Mais, ajoutaient judicieusement ces auteurs, on a déduit de cette observation des conséquences un peu exagérées, et l'on s'en est un peu trop rapporté aux apparences extérieures, sans effectuer l'analyse chimique du sol.

Le Dr Ant. Magnin a émis la théorie de la suppléance, dont nous avons déjà parlé, et qui est certainement admissible dans beaucoup de cas. Cette théorie permet, en effet, d'expliquer la présence en certaines localités, sur le calcaire, de plantes qui sont par exemple indifférentes ou silicicoles dans les localités plus méridionales.

Energie extractive spécifique des racines — Enfin, il importe de tenir compte de l'*énergie extractive* des racines de certaines plantes qui retirent souvent des sols siliceux des quantités de chaux considérables, atteignant, comme nous l'avons vu, jusqu'à 40 ou 50 o/o du poids de leurs cendres. Les grès cristallins de la Norvège ne contiennent même pas de chaux à l'analyse avec nos procédés, et cependant le *Saxifraga aizoon* en trouve, puisque ses feuilles en sont gorgées. Il faut donc toujours compter avec les phénomènes spéciaux de l'activité physiologique des plantes, puisque ces phénomènes peuvent parfois primer l'influence chimique du substratum. Il n'est pas jusqu'aux poussières transportées par les vents qui peuvent apporter du calcaire en dose suffisante pour certaines plantes.

6° Exceptions vraies. — Formation de variétés adaptées au sol.

Cas apparemment inexplicables. — En définitive, il reste peu d'exceptions, vraies et inexpliquées, à la doctrine de la prépondérance de l'influence chimique du sol. Le cas signalé déjà des *Pteris aquilina* de la Cour des Comptes n'a pas été expliqué, mais rien ne nous prouve qu'il était inexplicable. D'ailleurs, il est probable que beaucoup de plantes silicicoles sont simplement, comme nous l'avons dit, des kaliphiles plutôt que des calcifuges irréductibles.

Adaptation progressive. — Formation de variétés et d'espèces nouvelles. — Au surplus, la faculté d'adaptation et d'acclimatation à des substratum très différents les uns des autres est fort grande chez certaines plantes. On peut même dire que la même plante, adaptée à deux sols différents, donne par l'hérédité deux races, puis deux variétés, puis peut-être deux espèces différentes.

S'il est incontestable, disait Unger, que la nature du sol influe sur celle des principes qui se retrouvent dans les végétaux, on est aussi en droit de soupçonner que cette nature peut avoir de l'influence sur les formes des végétaux ; et, à l'appui de cette assertion, il met en regard deux listes de variétés qu'il considère comme un simple effet de la nature différente du terrain subjacent.

Dans la préface de la *Flore du Bassin du Rhône* (1889), le Dr Saint-Lager admet aussi que « lorsqu'on a la précaution de faire passer lentement, par petites étapes, des plantes exclusives sur des terrains qui leur sont contraires, on arrive à faire vivre quelques espèces sur un substratum différent de celui qu'elles préfèrent, mais alors elles présentent des modifications morphiques plus ou moins manifestes». Il affirme, avec plusieurs autres botanistes autorisés, que certaines races végétales se sont formées sous cette influence, et il considère par exemple *Epilobium collinum*, *Dianthus graniticus*, *Trifolium Molinerii*, *Achillea moschata*, *Rhododendron ferrugineum*, *Phegopteris triangularis* (*P. dryopteris*), etc., pour nous maintenir dans le

domaine des plantes communes, comme des formes silicicoles correspondant à *Epil. montanum*, *D. hirtus*, *Tr. incarnatum*, *Ach. atrata*, *Rhod. hirsutum*, *Pheg. calcarea*, qui sont les formes calcicoles.

De même, *Viola calaminaria* n'est probablement qu'une forme nouvelle de *Viola tricolor*, produite sous l'influence spéciale et exceptionnelle des terrains calaminifères.

Rappelons enfin que fréquemment, à la périphérie de leur aire de dispersion, certaines espèces éprouvent de légères modifications morphiques, formant ainsi des races différentes prises peut-être parfois pour espèces voisines (Dr. A. Magnin, etc.).

En résumé, presque tous les faits et toutes les exceptions qui, au premier abord, semblent exceptionnels et infirmatifs, rentrent, après examen sérieux et approfondi, dans la règle générale. Et, conclut le Dr Saint-Lager, lorsque, par des observations faites en un grand nombre de lieux, on a acquis la notion exacte de l'appétence géique de chaque espèce végétale, on demeure fermement convaincu que ce n'est pas à cette notion qu'il convient d'appliquer la remarque célèbre de Pascal : « Vérité en deçà des Pyrénées, erreur au delà ».

Comme conclusion pratique, tout botaniste, pour éviter de commettre des erreurs parfois grossières, et pour s'aider dans l'explication des colonies hétérotopiques qu'il est exposé à rencontrer, doit emporter dans ses explorations : des cartes géologiques détaillées, un briquet, une fiole d'acide, une pointe d'acier, une forte loupe, et même, s'il le peut, un calcimètre petit modèle.

C. — EXPÉRIMENTATION

Nous distinguerons, au point de vue de l'influence chimique du sol, deux catégories d'expériences :

I. Des expériences *indirectes*, c'est-à-dire effectuées dans un but autre que l'étude spéciale de l'influence chimique, et comprenant les résultats fournis par les cultures des jardins botaniques, des bois et forêts (arboriculture générale), des Vignes (viticulture), par les cultures diverses (agriculture générale),

ainsi que les résultats des recherches des auteurs sur les cendres, les expériences diverses, etc.

II. Des expériences *directes*, entreprises spécialement dans le but d'étudier l'action des principaux sels du sol sur les plantes.

I. — EXPÉRIENCES INDIRECTES

1. Jardins botaniques

Transplantations et semis dans les jardins botaniques. — De multiples remarques ont été faites par le personnel des jardins botaniques des Villes ou des Facultés. Dans tout jardin botanique à sol calcaire, les plantes silicicoles vivent mal, et réciproquement. Contejean, et beaucoup d'autres professeurs, directeurs de jardins botaniques, etc., ont remarqué la mauvaise venue d'une foule de plantes ainsi cultivées.

Dans les jardins à sol calcaire, on est absolument obligé de mettre en compost siliceux, ou en terre de bruyère, de nombreuses plantes silicicoles, telles que les Bruyères, les Fougères, les Azalées, le Rosage ferrugineux, etc., si l'on veut les conserver.

Viviand-Morel (*Lyon horticole*, 15 janvier 1898) a fait remarquer pourtant que certaines plantes silicicoles : *Cistus salvifolius*, *Lychnis viscaria*, *Genista linifolia*, *Potentilla argentea*, *Selinum carvifolia*, *Valeriana tripteris*, *Senecio adonidifolius*, etc., se cultivent bien dans des jardins où l'eau est calcaire et le sol ou le compost également. Ce sont peut-être, ajoute-t-il, des kaliphiles ?

En tout cas, ces remarques de jardiniers sont vagues et demandent à être vérifiées et précisées par l'expérimentation directe (1). Quant aux jardins fruitiers et aux vergers, tous les jardiniers savent que les Pomacées, le Noyer, etc., prospèrent mieux sur les sols calcaires.

---

(1) Voir, plus loin, expériences de transplantation.

2. Arboriculture

Expériences de boisement et de reboisement. — Les plantations effectuées en vue du boisement et du reboisement ont donné partout des résultats confirmant la doctrine de l'influence chimique.

A. Mathieu (*Flore forestière*, Nancy, 1858), Ch. des Moulins, Fliche et Grandeau, et de nombreux agronomes ou botanistes, ont toujours donné le Pin maritime et le Châtaignier comme silicicoles. Les tentatives de reboisement au moyen du Pin maritime en sols calcaires, par exemple dans les sols crayeux de la région de Troyes, où le sol contient 30 o/o de calcaire au minimum, ont abouti à un échec complet. La végétation de ces Pins en sols calcaires était misérable ; dès la deuxième année, la plupart des jeunes plants mouraient ; ceux qui ont persisté ont donné des individus chétifs qui, au bout de 20 ans, ont atteint à peine la taille d'un homme, et ne portaient que des rameaux courts et grêles, à feuilles courtes, jaunes, persistant seulement 2 ans au lieu de 3 ou 4, et pauvres en térébenthine. Fliche et Grandeau sont arrivés aux mêmes conclusions pour le Châtaignier (1874).

En 1870, Chatin a montré que le Châtaignier ne peut se développer que dans les sols contenant moins de 3 ou 4 o/o de calcaire au maximum. Au-dessus de ce taux, sa croissance est très lente et sa longévité diminue beaucoup ; il disparaît même au-dessus de 6 o/o. Les assertions des botanistes qui, comme De Candolle, et des praticiens qui, comme Ch. Albert, affirment que le Châtaignier pousse bien sur les sols calcaires, sont absolument erronées, ainsi que nous l'avons vu aux colonies hétérotopiques. Ravaz a bien observé quelques Châtaigniers dans des terres contenant de 8 à 12 o/o de calcaire, mais ils étaient, dit-il, chlorosés et très chétifs. Vallot a rapporté, d'après le Dr Bonnet, que les tentatives faites pour introduire le Châtaignier au jardin botanique de Dijon, dont le sol est calcaire, sont restées infructueuses. Le Dr Magnin a constaté les mêmes faits dans le jardin de son *Institut botanique* de Besançon (le sol de ce jardin contient d'ailleurs environ 30 o/o

de carbonate de chaux!). Vallot donne aussi, dans son excellent ouvrage, l'explication de plusieurs colonies hétérotopiques de Châtaigniers dues à des causes diverses.

3. Viticulture

Reconstitution du vignoble par les Vignes américaines. — L'histoire de l'importation et de la culture de la Vigne américaine en France est liée tout autant à l'influence chimique du sol qu'au phylloxera.

En effet, les expériences de plantations ont démontré, dans la France entière, que les Vignes américaines ne peuvent pas se développer sainement en sols calcaires ; elles sont *calcifuges*, et le problème de l'adaptation et de la reconstitution en terrains calcaires, malgré de nombreuses et opiniâtres recherches, n'est point encore complètement résolu. Nous aurons à reparler longuement de cette question à propos de la chlorose.

4. Agriculture

Expériences de cultures diverses. — L'expérience agricole a démontré péremptoirement l'influence chimique du sol. C'est ainsi que, dans les sols siliceux, certaines céréales, le Blé notamment, poussent mal si le sol n'est pas calcifié artificiellement par le chaulage. Un très grand nombre de Légumineuses ont été démontrées plus ou moins calcicoles par l'expérience culturale : telles sont l'Esparcette, l'Anthyllide vulnéraire, la plupart des Vesces, des Gesses, des Trèfles, des Luzernes, des Mélilots, le Lotier corniculé, l'Ers ervillier, le Genêt d'Espagne, le Cytise des Alpes, les Fèves, les Pois, les Haricots, le Soja de Chine, la Coronille variée, etc.

Parmi les Lupins, les uns sont indifférents ou même calcicoles (*L. mutabilis*, *albus*, *nanus*) et résistent jusqu'à des doses de calcaire atteignant 30 o/o ; les autres sont très silicicoles, tels que le Lupin bleu, le Lupin blanc de la Prusse orientale et le Lupin jaune. En général, les espèces de Lupin cultivées par les praticiens sont réfractaires aux sols calcaires et ne veulent pas pousser non plus dans des sols siliceux qui ont reçu des chaulages répétés (J. Guilloteaux. *Effets fâcheux du chaulage sur les Lupins*, Journal d'agriculture, 1895).

Les plantes indifférentes cultivées se ressentent elles-mêmes de la composition chimique du sol, puisque PELLET a trouvé que les Betteraves venues sur des terrains calcaires et magnésiens sont généralement moins salines et moins sucrées que des betteraves récoltées sur des terres potassiques.

5. Expériences indirectes diverses

Expériences diverses.— Expériences chimiques.— Etude des cendres en terrains différents.—J. CHAREYRE a remarqué que les cystolithes des Urticées disparaissent lorsque la plante pousse sur un sol absolument dépourvu de calcaire. L'analyse des cendres des plantes en sols siliceux et en sols calcaires constitue aussi une démonstration expérimentale indirecte de l'influence chimique du sol. En effet, voici les résultats éloquents des analyses des cendres de MALAGUTI et DUROCHER :

FAMILLES ET GENRES	ESPÈCES	EN SOLS CALCAIRES	EN SOLS SILICEUX	
Crucifères.....	»	35,80	20,12	p. 100 de chaux
Légumineuses.	»	40,26	28,12	—
Dipsacées.....	»	38,65	20,63	—
Populus.....	»	68,87	51,16	—
	Moy.	45,87	30,01	—
	Brassica oleracea.....	27,98	13,62	—
	— *napus*.....	43,60	19,48	—
	Trifolium pratense....	43,32	29,72	—
	— *incarnatum*.	36,18	26,68	—
	Allium porrum.....	22,61	11,41	—
	Dactylis glomerata....	6,24	4,62	—
	Quercus pedunculata..	70,14	54.00	—
	Moy.	34,83	22,09	—

Le contraste est encore plus marqué dans les plantes calcicoles :

PLANTES CALCICOLES	PLANTES SILICICOLES	PROPORTION P. 100 DE CHAUX
Reseda lutea.....	»	41,21
»	*Reseda luteola*.....	17,12
Scabiosa columbaria...	»	48,71
»	*Scabiosa succisa*.....	21,49

Rappelons les considérations analogues que nous avons déjà émises à propos des matières minérales contenues dans les plantes.

En 1881, DELESSE a constaté que la chaux et la magnésie

étaient plus abondantes dans les cendres en sols calcaires qu'en sols siliceux. Fliche et Grandeau, en 1873-1876, ont observé les mêmes différences :

	EN SOLS CALCAIRES	EN SOLS SILICEUX
Châtaignier.....	74 p. 100	45 p. 100
Pin maritime.....	56 —	40 —

Ils ont constaté en outre qu'à cette augmentation de chaux en sols calcaires correspond une diminution notable de potasse. « Donc, concluent-ils, la cause qui éloigne le Pin maritime des sols calcaires est essentiellement chimique ».

En 1869, Rœthe a constaté que *Herniaria glabra* contient quatre fois plus de potasse, deux fois moins de chaux, deux fois et demie moins de magnésie, seize fois plus de silice, sept fois plus de chlorure de sodium, etc., en sol siliceux qu'en sol dolomitique.

II. — EXPÉRIENCES DIRECTES

1. Chlorure de sodium

De nombreux auteurs se sont occupés de l'action du sel marin sur les plantes, et notamment Bührer et Batalin en 1884, Brick en 1888, et Lesage en 1890 (V., plus loin, appendice).

Expériences de Lesage sur l'action du sel marin. — En comparant les feuilles de plantes de même espèce dans deux variétés, l'une maritime, l'autre terrestre, Lesage a conclu que l'épiderme des feuilles, la paroi externe des cellules épidermiques, les nervures, les vaisseaux, les sécrétions (tanin, oxalate de chaux), ne présentent aucune différence sensible dans les deux variétés VI et VM. Les palissades du mésophylle sont plus développées dans VM ; les lacunes et les méats sont au contraire réduits dans VM. Quant à la chlorophylle, elle tend à être moins abondante, soit en volume, soit en nombre des grains, dans les cellules du mésophylle.

En étudiant des plantes terrestres cultivées en sols salés, il a observé que, sous l'influence de la salure, se produisent les modifications suivantes :

	VARIATIONS MORPHOLOGIQUES EXTERNES	VARIATIONS MORPHOLOGIQUES INTERNES
Feuilles ..	Augmentent en épaisseur. Diminuent en surface.	Augmentation du parenchyme et surtout du tissu en palissade. Réduction des méats intercellulaires. Diminution de la chlorophylle. Réduction et disparition de l'amidon.
Tiges.....		Augmentation du parenchyme cortical.

Ces variations ne sont pas proportionnelles à la salure et ne sont pas les mêmes pour toutes les plantes, selon leur résistance plus ou moins grande à la salure. En expérimentant sur le Radis (*Raphanus sativus*), Lesage (A.F.A.S. 1891) a remarqué en sols salés : retard ou arrêt de la germination dans les sols très salés ; retard dans la floraison ; petitesse des plantes ; réduction des dimensions des feuilles ; apparition de chlorose faible en sols très salés ; augmentation d'épaisseur de la feuille ; désagrégation des grains chlorophylliens en sols très salés ; réduction ou absence d'amidon dans les feuilles.

2. Sels divers

Expériences de Dassonville sur l'action de divers sels. — De nombreuses recherches expérimentales, dont on trouve l'historique dans la thèse de Dassonville, ont été faites dans le but de préciser l'action de divers sels sur la végétation.

Voici les principales conclusions des travaux de Dassonville :

Le sulfate de magnésie retarde d'abord la croissance, puis l'active.

Le phosphate de potasse est indispensable aux végétaux ; il joue un rôle préventif contre la *verse* des céréales.

Le silicate de potasse donne aux feuilles une couleur vert foncé.

Les nitrates ont une action différente selon les espèces et les doses.

L'azotate de soude a une action nuisible dans certains cas (Chanvre, Sarrasin).

La potasse favorise la croissance.

Le soude prévient la *verse*, etc.

Tous ces sels occasionnent des variations de structure relativement peu importantes.

Expériences de Dehérain sur l'action de la silice. — Dehérain et Bréal ont conclu de leurs expériences sur les Haricots que les sels de baryte sont nocifs ; la chaux, et surtout l'ulmate de chaux, est le sel qui influe le plus sur la croissance des Haricots. Ces auteurs et d'autres avec eux (*Ann. agron.*, t. X, p. 187) ont expérimenté l'action de la silice. La concentration croissante de la solution de silice a pour effet d'augmenter le développement des grains en poids et en nombre, la qualité restant la même. On peut dire que, toutes conditions égales d'ailleurs, les Céréales et surtout l'Avoine profitent mieux, après absorption de silice, des substances nutritives proprement dites et développent leurs grains beaucoup mieux que si la plante ne dispose pas d'une quantité de silice suffisante.

Expériences sur l'action des sels sur la germination. — Mais c'est surtout l'action des sels sur la germination qui a fait l'objet d'expériences directes.

Les expériences déjà citées antérieurement à propos de l'influence chimique des eaux minéralisées trouveraient également leur place ici. Rappelons seulement que certains corps, et en première ligne la chaux, sont absolument nécessaires pour que la germination de la plupart des plantes puisse s'effectuer complètement (recherches de Bœhm, von Raumer, Kellermann, von Liebenberg, Dehérain et Bréal, etc.). Cependant, tandis que Bœhm proclame la nécessité absolue de la chaux et la non efficacité de son remplacement par une autre base, Dehérain et Bréal (1) ne sont pas aussi affirmatifs. Voici d'ailleurs leurs conclusions : Les matières minérales et notamment les sels de chaux favorisent le développement d'une jeune plante en germination ; cette influence des sels de chaux est surtout favorable au développement de la racine. La forme sous laquelle la chaux est présentée est loin d'être indifférente ; elle

(1) Dehérain et Bréal. *Rech. sur l'influence des mat. minérales dans la germination. (Ann. agron.*, t. IX).

exerce une action sensiblement plus avantageuse quand elle est combinée à l'acide ulmique que lorsqu'elle est unie à l'acide azotique, comme si cet acide ulmique concourait directement à la nutrition de la jeune plante. Cependant, on ne peut pas admettre que l'addition de chaux étrangère à la graine soit nécessaire à l'évolution de la jeune plante, car en exposant des graines placées dans l'eau distillée à une température de 30 à 35°, on les voit souvent se développer normalement sans qu'on puisse déceler de chaux dans les organes nouvellement formés. C'est souvent l'addition de sels différents de ceux qui existent dans la graine qui influe davantage sur le développement de la jeune plante.

On sait que l'eau acidulée, de même que les oxydants en général, pourvu qu'ils soient suffisamment étendus, accélèrent la germination.

Ed. Heckel (*C. R. Ac. Sc.*, 12 juillet 1880) a constaté, en outre, expérimentalement, que le benzoate de soude, l'acide sulfureux, etc., arrêtent la germination.

Morel (*C. R. Ac. Sc.*, 18 janvier 1892) a constaté que le borax et l'acide borique concentré empêchent la germination.

Gaston Bonnier, ayant semé des graines d'*Ononis natrix* sur des sols différents, a constaté que les germinations se font aussi bien sur la silice que sur le calcaire (1). Rappelons aussi les expériences de Vernier à Porrentruy, dont nous reparlerons plus loin.

3. Plantes calcicoles en sols siliceux

Expériences de Heinrich : cultures de Luzernes, etc., en sols siliceux. — Parmi les rares essais de cultures expérimentales de plantes calcicoles en sols siliceux, il convient de citer les recherches de Heinrich sur la Luzerne (*Medicago sativa*) qui, de toutes les plantes cultivées, est celle qui exige le plus de chaux.

Heinrich a cultivé la Luzerne dans un sol siliceux, pauvre en chaux et en potasse ; la teneur de ce sol en principes fertilisants solubles dans l'eau contenant 10 o/o d'HCl a été trouvée

(1) V., plus loin, nos expériences personnelles en sens inverse.

la suivante : potasse, 0,028 ; chaux, 0,091 ; magnésie, 0,092 ; acide phosphorique, 0,092 ; azote, 0,101.

Cette terre des vases de culture fut additionnée et mélangée de carbonate de chaux en proportions telles que les quantités de chaux réelles soient 0,05 ; 0,1 ; 0,2 ; 0,3 ; 0,5 et 1 o/o.

Pour le chaulage, Heinrich a employé soit un calcaire corallien à 98,6 o/o de CO^3Ca, soit de la chaux de défécation de sucrerie à 86,6 o/o de CO^3Ca. Ces expériences ont montré que le sol renfermant seulement 0,091 o/o de chaux (CaO) est incapable de produire de la Luzerne avec ou sans fumure. Il est indispensable de l'additionner de chaux.

Avec le calcaire corallien, il a obtenu quelques maigres plantes à 0,1 o/o de chaux et des plantes normales à partir de 0,291 o/o de chaux (à l'état de carbonate). Avec la chaux de défécation, il faut 0,191 o/o de chaux pour obtenir une végétation normale (à cause de l'état de division plus grand réalisé par la voie chimique). On doit donc conclure que la Luzerne ne prend sa croissance normale que dans une terre renfermant de 0,2 à 0,3 o/o de chaux, correspondant à 0,37 et 0,55 o/o de calcaire.

Quant au Trèfle rouge (*Trifolium rubens*), il exige au moins 0,1 à 0,12 o/o de CaO ; 0,2 o/o est donc la dose optimum. Les Pois et les Vesces ne croissent suffisamment bien que dans des sols renfermant plus de un millième de chaux à l'état de calcaire.

Expériences de G. Bonnier sur l'*Ononis natrix*. — G. Bonnier (1894) a expérimenté l'*Ononis natrix*, plante calcicole préférente, en terrain siliceux. Il a obtenu ainsi des formes silicicoles de l'*Ononis*, dues à l'adaptation rapide, et a conclu de cette expérience que « l'*Ononis*, plante calcicole, peut se développer, fleurir et fructifier sur un terrain sans calcaire, à condition de supprimer la lutte avec les autres plantes ». Cette conclusion, ainsi que nous l'avons vu au chapitre de la Lutte pour l'existence, est discutable sous cette forme.

Voici le tableau comparatif des variations observées chez l'*Ononis* transporté en sols siliceux. :

	EN SOL CALCAIRE NORMAL	EN SOL SILICEUX ANORMAL
Plante entière	Touffes plus hautes et moins étalées.	Touffes plus diffuses.
Feuilles		Folioles beaucoup plus étroites. De coloration différente. Le limbe des folioles a un tissu palissadique plus épais, à cellules plus serrées, même sur la face inférieure. Pétiole avec tissu en palissade relativement moins développé.
Tiges	Moelle non lignifiée. Fibres peu nombreuses.	Moelle lignifiée. Fibres nombreuses.
Fleurs		Plus foncées. Sépales plus allongés par rapport aux pétales.

Ces expériences sur les plantes calcicoles de Heinrich et G. Bonnier sont à peu près les seuls essais scientifiques tentés jusqu'ici. On peut, à la rigueur, ranger aussi dans les expériences directes des essais de culture en grand de plusieurs Légumineuses calcicoles, en sols siliceux ; et encore ces essais culturaux ont-ils été faits dans un but pratique et non scientifique et sont par conséquent plutôt des expériences indirectes. La question est donc encore à étudier et à préciser.

4. Plantes silicicoles en sols calcaires

Ici encore les essais de cultures que nous aurions à citer sont plutôt des expériences indirectes. Nous avons signalé plus haut l'échec des cultures de certains arbres et de certaines Légumineuses silicicoles en sols calcaires.

Expériences de Vernier à Porrentruy. — Nous devons rappeler aussi les essais de Vernier, ancien directeur du jardin botanique de Porrentruy, qui, vers 1852, sema des graines de Digitale pourprée sur les collines jurassiques des environs de cette ville. Vernier a remarqué que ces graines, semées à l'époque de la dissémination naturelle (fin juillet), ne germent pas sur les sols calcaires ; au contraire, ayant semé ces mêmes graines au commencement ou à la fin de l'hiver, dans ces mêmes localités calcaires, il a vu la germination s'opérer et il a pu obtenir des plantes vigoureuses qui ont fructifié, mais qui

n'ont pu se propager naturellement. CONTEJEAN et VERNIER ont cru voir dans cette expérience une confirmation de la théorie de THURMANN sur l'action mécanique et physique des sols : les sols calcaires, secs et chauds, n'ont pas assez d'humidité en juillet pour faire germer les graines de Digitale, tandis qu'au moment des pluies automnales et printanières, cette germination s'opère très bien. Cette explication est tendancieuse et incomplète, et il nous est facile de la rectifier en la complétant.

Discussion de l'interprétation de Contejean et Vernier. — D'abord, la sécheresse de juillet s'étend aussi bien aux sols siliceux qu'aux sols calcaires, surtout sur les collines dénudées ; d'autre part, si la sécheresse du sol calcaire empêche la germination des graines de Digitale, elle doit aussi empêcher la germination des graines d'une foule d'autres plantes qui se disséminent par leurs graines vers la même époque. Or, on sait qu'une graine a une vie latente plus ou moins longue et qu'en tout cas, elle peut attendre sans périr, fût-ce en plein soleil, quelques semaines et même plusieurs mois, les conditions d'humidité qui lui font momentanément défaut.

Enfin, pour ce qui concerne la végétation des Digitales obtenues par VERNIER sur ces collines jurassiques, il importe de remarquer que le jurassique renferme des couches presque dépourvues de carbonate de chaux en certains points, et que, d'autre part, VERNIER ne s'est point préoccupé de la proportion exacte de calcaire contenue dans ses sols d'expériences. Ses résultats sont donc non seulement douteux, mais certainement inexacts ; l'explication, admise par CONTEJEAN, n'a qu'une valeur relative, et la doctrine de l'influence chimique conserve toute son importance. D'ailleurs, nous verrons plus loin (expériences personnelles) que *Digitalis purpurea* germe très bien en toute saison sur les sols même très calcaires.

Expériences de Heinrich et Schulz-Lupitz. — Culture des Lupins en sols calcaires. — Nous avons à signaler maintenant les expériences entreprises pendant ces dernières années par

Schulz-Lupitz, R. Heinrich (1) et d'autres, sur les Lupins silicicoles cultivés en sols calcaires. Heinrich fit pousser des Lupins dans des pots renfermant une terre sableuse seule ou additionnée de carbonate de chaux sous différents états : craie et marbre grossièrement broyés ou finement pulvérisés ; il s'est servi aussi d'un sol marneux renfermant 14,4 o/o de calcaire. La meilleure récolte fut obtenue sur la terre sans calcaire ; l'addition du CO^3Ca, surtout en poudre fine, a réduit beaucoup les rendements. Les plantes les plus chétives ont été celles dont la matière sèche renfermait la plus forte proportion centésimale de chaux.

Dans une autre série d'expériences, une terre sableuse fut additionnée de plâtre, de phosphate de chaux, de carbonate de chaux ou de magnésie, et de quantités variables de sulfate de de potasse. Ici encore, la terre sans addition a fourni le meilleur résultat. Le plâtre est le moins nuisible des composés calciques employés ; cependant, la récolte sur le sol plâtré n'a été que moitié de celle venue sur la terre sans aucune addition.

Contrairement aux conclusions de Schulz-Lupitz, on n'a pas observé que les mauvais effets de la chaux puissent être contre-balancés par l'emploi d'engrais de potasse.

Les plantes les plus riches en chaux (en ne tenant pas compte des graines) ont été celles qui avaient poussé sur le sol plâtré ; chose curieuse, celles qui venaient au deuxième rang au point de vue de la teneur en chaux provenaient de la terre sans addition : c'étaient les plus vigoureuses du lot. On ne peut donc pas dire, comme cela a été avancé, que les Lupins sont d'autant plus vigoureux qu'ils sont plus pauvres en chaux.

Expériences de Dehérain et Demoussy. — Discussion. — Tout récemment enfin, P.-P. Dehérain et E. Demoussy (*Sur la culture des Lupins blancs*, C. R. Acad. Sc., 2 janvier 1900), cherchant à déterminer les causes des échecs des ensemence-

(1) R. Heinrich. *Action de la chaux sur les Lupins* (Rostock, 1894 ; *Ann. agronom.*, 1897).— L. Grandeau. *Le Lupin et la chaux* (Journal d'agriculture pratique, 1897).

ments de Lupins blancs, jaunes ou bleus, effectués à Grignon, dans la Limagne d'Auvergne, dans l'Yonne, etc., ensemencements qui, en effet, ont complètement avorté, se sont livrés à des essais de culture sur divers substratum, avec ou sans inoculations bactériennes.

Les nombreux auteurs qui ont exécuté des recherches sur la végétation des Lupins, non seulement Guilloteaux, Grandeau, Heinrich, Schultz, etc., mais encore Bréal, Mazé, etc. en France, Nobbe, Hiltner, Liebscher, Salfeld, Stroklasa, etc. en Allemagne, avaient conclu à la répugnance des Lupins pour le calcaire (1). Or, Dehérain et Demoussy concluent de leurs essais que l'insuccès fréquent des cultures de Lupins ne semble pas dû à la teneur en calcaire des sols sur lesquels elles ont été semées, puisque les Lupins blancs prospèrent, paraît-il, dans la terre de Meudon qui contient du calcaire; et que la réussite paraît devoir être attribuée à la présence, dans le sol, de bactéries favorables à la symbiose, qui organisent pour le Lupin l'azote atmosphérique. Ces bactéries semblent, en outre, s'opposer à la formation, sur les racines, d'énormes nodosités dues à d'autres bactéries qui, bien qu'encore utiles, vivent cependant plutôt en parasites qu'en associées.

Quel que soit l'intérêt de ces recherches, nous croyons qu'il faut attendre les résultats de nouveaux essais plus précis. Il importe, en effet, de savoir d'abord si le Lupin blanc expérimenté par Dehérain est le type indifférent cité par Guilloteaux ou sa variété calcifuge de la Prusse orientale ; et, en outre, quelle est la teneur exacte en calcaire du sol où ont été faites les cultures. D'autre part, la question des bactéries est encore à l'étude, et nous devons rappeler que Raoul Bouilhac et Salfeld, notamment, ont indiqué que les bactéries des Légumineuses ne vivent pas dans le calcaire. Il n'est pas impossible non plus qu'à la suite d'essais réitérés et bien conduits, on parvienne à adapter au calcaire certaines plantes calcifuges. Nous en avons parlé à propos des colonies hétérotopiques.

---

(1) Voir, plus loin, nos cultures expérimentales de *Lupinus polyphyllus* ainsi que le chapitre VII: Applications aux cultures.

Enfin, si les résultats publiés par Dehérain et Demoussy sont confirmés par la pratique, il restera à expérimenter les autres espèces de Lupins. D'ailleurs, les Légumineuses, par leur nutrition azotée spéciale, constituent, pour ainsi dire, une exception dans le règne végétal, et le Lupin blanc ne pourrait donc, de ce fait, être invoqué contre la théorie générale de l'influence chimique du sol, et spécialement du calcaire.

Au surplus, la symbiose des bactéries et des Légumineuses n'est peut-être pas aussi nécessaire à ces dernières qu'on le croit encore actuellement, et, quoi qu'on en dise, *les Lupins conservent vis-à-vis du sol une dépendance étroite.*

Dans les bonnes terres, en effet, le Pois et le Lupin, entre autres, se passeraient de la symbiose et assimileraient directement l'azote atmosphérique renfermé dans le sol. Cela n'a rien d'extraordinaire si l'on se rappelle que les recherches de G. Ville, Schlœsing et Laurent, Berthelot, Frank, Bréal, etc., sur les Algues, Cresson, Colza, Avoine, Sarrasin, Asperge, Chou, etc., ont démontré que ces plantes, bien qu'exemptes de symbiose, utilisent néanmoins l'azote libre atmosphérique. Faire intervenir la question des bactéries des nodosités dans l'influence du sol, c'est donc déplacer légèrement la question qui doit rester sur son véritable terrain : *les Lupins sont-ils, oui ou non, pour la presque totalité, nettement calcifuges ? Oui.*

Expériences sur les Vignes américaines. — Les cultures expérimentales de Vignes américaines en sols calcaires sont en partie des expériences directes, faites en vue d'étudier l'action du carbonate de chaux sur ces plantes calcifuges. On sait que depuis les ravages du phylloxera sur les cépages français, les vignobles sont reconstitués avec des plants américains : producteurs directs, plants greffés français sur américains, etc. Or, dans les pays calcaires, la plupart des vignes américaines végètent fort mal, et se chlorosent, par suite de l'influence chimique du carbonate de chaux. La pratique viticole a révélé que dans les sols contenant moins de 15 o/o de CO^3Ca, le succès des plantations de Vignes américaines est certain ; de 15 à 30 o/o, le succès est douteux ; au-dessus de 30 o/o, l'insuccès est général.

Expériences de V. Oehlmann, etc., sur les Sphaignes. — Tout récemment (1898), les Sphaignes ont été l'objet d'un travail anatomo-pathologique présenté par Victor Oehlmann, comme dissertation inaugurale à l'Université de Fribourg (Suisse). Dans cette thèse, l'auteur a étudié expérimentalement l'influence des combinaisons de la chaux sur les Sphaignes. Après avoir rappelé les observations de Lequereux (1847) sur la présence des Sphaignes sur différents substratum et de Warming sur la répulsion des Sphaignes pour le carbonate de chaux, il est arrivé aux conclusions suivantes (que nos recherches sur les Phanérogames vont confirmer et compléter), et dont voici la traduction : «Les expériences faites pour étudier l'influence des sels de chaux sur les Sphagnacées montrent que les différentes combinaisons du calcium ont des effets très différents sur leur croissance. *Le carbonate de chaux est le plus nuisible.* Les différentes espèces de *Sphagnum* sont sensibles à des degrés différents envers les sels de chaux. Des trois espèces de *Sphagnum* mises en expérience, c'est le *Sph. rufescens* qui est le plus capable de résistance, le *Sph. mucronatum* l'est à un degré moindre, et le *Sph. falcatum* est le plus sensible».

Seltner a montré aussi que l'apport d'eau fortement calcaire suffit pour faire périr, à bref délai, toutes les variétés de Sphaignes, et qu'elle est un poison aussi violent pour diverses espèces de Mousses aquatiques.

Expériences diverses. — Christ ayant arrosé avec de l'eau calcaire des plantes qui accompagnent les Mousses des hautes-tourbières, par exemple *Drosera rotundifolia*, a vu ces plantes mourir rapidement.

Kerner a cultivé des plantes, qui ne se trouvent pas sur les sols calcaires, dans un substratum très calcaire, et il a vu ces plantes devenir maladives et mourir.

Forscher a cité comme se comportant d'une façon semblable : *Blechnum*, *Allosorus*, *Saxifraga aspera*, etc.

Pour ce qui concerne l'action du calcaire sur la structure des plantes silicicoles adaptées aux sols calcaires, nous ne possédons que les observations histologiques sommaires de

Fliche et Grandeau sur l'*Acacia*, le Châtaignier et le Pin, de Masclef sur le *Pteris aquilina*, de Timbal-Lagrave et Malinvaud sur l'*Asclepias vincetoxicum*, de Hilgard sur les Chênes de l'Amérique du Nord.

Ces expériences sont incomplètes, surtout en ce qui concerne la flore spontanée. — Quel que soit l'intérêt pratique ou même scientifique des expériences diverses dont nous venons de parler, nous devons reconnaître que ces expériences ne s'appliquent qu'à des plantes cultivées et que, d'ailleurs, elles sont incomplètes et n'ont pas été conduites assez scientifiquement, puisque l'on n'a pas étudié et précisé les variations morphologiques externes ou internes dues au calcaire.

En un mot, en ce qui concerne la flore spontanée, la preuve expérimentale de l'existence réelle de plantes silicicoles, ainsi que l'étude des variations et des altérations produites par le calcaire sur ces mêmes plantes, n'ont pas encore été effectuées.

C'est à cette preuve et à cette étude que nous avons consacré les recherches et expériences personnelles que nous allons exposer.

APPENDICE (1)

Influences chimiques en général. — Outre les auteurs cités précédemment comme ayant étudié l'influence chimique générale du sol, nous devons ajouter J. Vesque, Burgenstein (1876), Dr A.-F.-W. Schimper (1890), Stange (1892), etc.

Influence chimique du chlorure de sodium. — Cette action chimique du sel marin a été étudiée aussi par Battandier (1887), Hansteen (1896), Heinrich (1885), Hoffmann (1870), Richter (1892), Rosenberger (1897), Schimper (1890-91), Schultz (1888), Stahl (1894), etc.

Influence chimique de diverses solutions salines. — Travaux de Jungherhn (1852), Mayr (1890), Schimper, etc.

---

(1) Notes ajoutées pendant l'impression.

Influence chimique de la serpentine (silicate de magnésie hydraté). — Travaux de Luerssen (1889), Milde (1868), Sadebeck (1872, 1887), etc.

Influence chimique de la calamine. — Travaux de Baumann (1885), Hoffmann (1875-1877), Sachs (1865), Wirtgen (1865), etc.

L'énumération détaillée de ces travaux sera ajoutée, comme complément à notre *Revue historique* du chapitre deuxième, aux *Addenda*, à la fin de notre travail.

CHAPITRE QUATRIÈME

EXPÉRIENCES PERSONNELLES. — EXPOSÉ GÉNÉRAL

Les expériences de culture que nous avons entreprises, dans le but de démontrer l'influence nocive du calcaire sur les espèces dites silicicoles ou calcifuges, sont basées sur les deux principes suivants :

1° Employer des sols naturels homogènes et comparables, c'est-à-dire de constitution physique semblable, quoique pourvus de doses connues et progressives de carbonate de chaux ;

2° Opérer sur des espèces végétales appartenant manifestement à la flore sauvage ou spontanée, et reconnues calcifuges exclusives par la majorité des botanistes phytostaticiens.

Dans la description détaillée, qui va suivre, de nos cultures expérimentales, nous exposerons successivement le dispositif des expériences (origine et analyse des terres employées, récipients, espèces expérimentées, entretien des cultures) et la marche de la végétation (espèces semées [phase germinative, phase post-germinative], espèces transplantées).

I

DISPOSITIF DES EXPÉRIENCES

A.— ORIGINE DES TERRES EMPLOYÉES

Les terres devant servir à nos expériences devaient réunir les conditions suivantes :

Être naturelles, c'est-à-dire résulter de la décomposition

directe des roches, sans avoir subi aucune préparation chimique.

Être vierges, c'est-à-dire recueillies dans des gisements n'ayant jamais porté aucune culture ni reçu aucun engrais ou amendement, aucune poussière même, de composition chimique différente.

Être homogènes, c'est-à-dire pures de tout mélange minéralogique ou détritique ; c'est pour ce motif que nous avons rejeté les terres d'alluvions et les terres souillées de la banlieue de Lyon.

Outre ces qualités de première importance, nous devions, pour obtenir des mélanges contenant des doses progressives de calcaire, trouver d'abord deux terres types, l'une siliceuse absolument privée de calcaire, l'autre, au contraire, en contenant au moins 90 o/o.

Terre type siliceuse. — La chaîne des Monts Lyonnais, de composition granito-gneissique, devait nous fournir ce type siliceux. Après de nombreuses recherches dans les parties boisées de la chaîne, pour éviter les terres cultivées et mélangées à des engrais (fumier, poussière d'os, phosphates chimiques, plâtre, etc.), nous avons découvert près de Pomeys (Rhône), au lieu de la Croix-de-l'Orme, non loin du col qui sépare Pomeys de Grézieu-le-Marché, un gisement nous paraissant réunir les conditions désirées. Ce gisement est une sorte de petite falaise en miniature, bordant un chemin, entourée de toutes parts par des bois et des friches, et supportant elle-même un bois de Pins et d'arbres divers, avec toute la cohorte des plantes silicicoles.

Ce terrain est constitué par une sorte de gore grossier, formé *sur place* par la décomposition du gneiss. Cette terre gneissique, quoique assez pauvre en éléments nutritifs (V., plus loin, l'analyse chimique), nous présentait le grand avantage d'être totalement dépourvue de chaux. En effet, de nombreux essais au calcimètre n'ont pas révélé de calcaire, et l'analyse chimique n'en a décelé que des traces infinitésimales.

Cette terre a été tamisée et ensachée sur place, et expédiée (400 kilog. environ) sur Lyon.

Terre type calcaire. — Nous ne pouvions songer à trouver, dans la région lyonnaise, des terrains suffisamment calcaires pour fournir des terres contenant 90 o/o de carbonate calcique ; ce n'est guère que dans les étages crétacés et tertiaires que ces sols se rencontrent. Mais il nous a été facile de tourner la difficulté. Nous n'avons eu, en effet, qu'à recueillir, dans Lyon même, des blocs de calcaire mollassique provenant de la région de Saint-Restitut, Bollène, Saint-Paul-Trois-Châteaux, sur les confins de la Drôme et de Vaucluse.

La pulvérisation de cette mollasse nous a fourni une terre contenant, d'après les essais au calcimètre, 96 o/o de carbonate calcaire. Il était difficile, on le voit, de trouver un sol plus calcaire, puisqu'il contient autant de carbonate de chaux que la craie de Champagne.

Terreau naturel de Charbonnières. — Pour mélanger en faible proportion à la terre siliceuse de Pomeys, trop pauvre en matières organiques, nous avons recueilli en outre, dans les bois situés entre Charbonnières et La Tour-de-Salvagny (Rhône), une très bonne terre de bruyère, vierge, reposant sur le granite, et ne donnant au calcimètre aucune trace de calcaire. L'analyse chimique n'en a révélé également qu'une infime proportion.

Terre du Mont Ceindre. — Enfin, nous avons également recueilli, à titre comparatif, une terre argilo-calcaire (dosant 15,50 o/o au calcimètre), dans une carrière de calcaire à entroques sur le flanc ouest du Mont Ceindre, près du hameau de la Jardinière, non loin de Saint-Cyr-au-Mont-d'Or (Rhône).

B. — TAMISAGE DES TERRES EMPLOYÉES

Toutes ces terres ont été soigneusement tamisées : la terre de bruyère à 2 millimètres, la terre gneissique à $1^{mm}1/4$, et la terre type calcaire et la terre de Saint-Cyr à 1 millimètre.

Ces tamisages ont été jugés suffisants pour obtenir des mélanges comparables entre eux et de constitution physique moyenne, ni trop meuble ni trop compacte. Toutefois, la terre de Saint-Cyr, qui n'a d'ailleurs subi aucun mélange avec les autres, a fourni un sol extrêmement compact, presque glaiseux, par suite de la présence d'une très forte quantité d'argile.

Des échantillons, de 1.200 grammes chacun, de ces différentes terres, ont été prélevés, avant tous mélanges, pour servir aux analyses physiques et chimiques.

C. — ANALYSES MÉCANIQUE, PHYSICO-CHIMIQUE ET CHIMIQUE DES TERRES EMPLOYÉES

Ces différentes analyses ont été exécutées soigneusement, avec une amicale bienveillance à laquelle nous nous plaisons à rendre hommage, par Mr A. Collet, docteur ès sciences, professeur de chimie agricole à la Faculté libre des Sciences de Lyon. Elles présentent donc toutes les garanties scientifiques et toute la précision désirable. La note suivante sur l'analyse des sols expérimentés a d'ailleurs été rédigée par M. Collet lui-même ; nous la reproduisons textuellement.

Analyse mécanique. — Les échantillons de terres sont abandonnés au contact de l'air pendant quelques jours ; on en prélève 1 kilogramme, qu'on jette sur un tamis à mailles de 1 millimètre de côté (dix fils par centimètre). On recueille la terre fine qui sera soumise aux analyses chimiques et physico-chimiques ; sa densité réelle a été déterminée par la méthode du flacon. Le tamis retient les graviers et les cailloux, ainsi que les gros débris végétaux ; ces derniers sont séparés à la pince. Les graviers et les cailloux sont de nature siliceuse ; traités par l'acide chlorhydrique étendu et froid, ils ne produisent pas d'effervescence et ne cèdent au dissolvant aucune trace sensible de calcaire. Ce sont d'ailleurs des fragments de quartz, de feldspath, de gneiss ou de granite, plus ou moins altérés.

Analyse physico-chimique. — On a appliqué aux quatre sols la méthode d'analyse de M. Schlœsing. Les débris organiques comprennent les détritus végétaux de toute sorte qui demeurent mélangés au gros sable et au sable fin ; on détermine leur proportion en incinérant ces deux lots après les avoir desséchés à 100°. La matière humique, qui se précipite avec l'argile lors de la neutralisation des liqueurs ammoniacales par l'acide azotique, existait en trop faible proportion dans les sols de

Pomeys et de Saint-Cyr pour qu'il fût possible de la doser ; les liqueurs ammoniacales étaient à peine colorées.

La quantité de calcaire contenue dans le gros sable et dans le sable fin a été déduite du dosage direct de la chaux dans les solutions obtenues en traitant, à froid, ces sables par l'acide azotique étendu.

Analyse chimique. — Cent grammes de terre fine sont attaqués à chaud par l'acide azotique pur et concentré, pendant cinq heures ; on détermine le poids du résidu insoluble dans l'acide et l'on procède au dosage des éléments dissous.

— L'alumine a été séparée des sesquioxydes de fer et de manganèse à l'aide de la potasse.

— Le manganèse a été dosé par le procédé de A. Leclerc.

— La chaux, précipitée à l'état d'oxalate, a été ensuite transformée en chaux vive par calcination.

— La magnésie a été pesée soit sous forme de magnésie libre, soit à l'état de pyrophosphate.

— Les alcalis, pesés d'abord à l'état de chlorures, ont été séparés à l'aide du tétrachlorure de platine.

— L'acide phosphorique a été précipité par le molybdate d'ammoniaque, puis dosé sous forme de pyrophosphate magnésien.

— On a déterminé l'acide sulfurique par l'azotate de baryte.

— L'acide carbonique a été déterminé par une pesée directe.

— Le chlore a été dosé à l'état de chlorure d'argent.

— La proportion d'eau et de matières organiques a été déduite de la perte de poids qu'éprouve la terre par incinération au rouge ; dans le cas de la terre de Saint-Cyr, on a retranché du résultat obtenu la quantité d'acide carbonique restant dans le produit calciné.

— On a complété ces analyses par la détermination de l'azote par la méthode de Dumas.

— En outre, on a dosé le carbone dans la terre de bruyère de Charbonnières par la calcination avec l'oxyde de cuivre.

Le tableau suivant fait connaître les résultats de l'analyse chimique du calcaire mollassique de Saint-Paul-Trois-Châteaux.

Analyse chimique de la terre calcaire type à 96 o/o

Résidu insoluble dans les acides	2,15
Sesquioxyde de fer et alumine	0,49
Perte au rouge	43,04
Chaux (CaO)	53,99
Magnésie (MgO)	0,34
	100,01
Perte à + 140° (humidité)	0,26

D'où l'on déduit :

Carbonate de chaux	96,41
Carbonate de magnésie	0,71
Silice et matières insolubles	2,15
Sesquioxyde de fer et alumine	0,49
Humidité (eau volatile à 140°)	0,26
	100,02

Le tableau p. 153 fait connaître les résultats de l'analyse chimique des terres de Pomeys, de Charbonnières et de Saint-Cyr.

En résumé, la terre de Pomeys est siliceuse, assez riche en potasse, moyennement riche en acide phosphorique, très pauvre en azote. Elle est dépourvue de calcaire ; la recherche directe de cette substance, soit par le dosage de l'acide carbonique, soit par l'action des acides étendus et froids, n'en a donné que des traces non dosables.

La terre de bruyère de Charbonnières est un mélange à parties à peu près égales de matières organiques (débris végétaux à tous les degrés d'altération) et d'une arène granitique grossière. Elle est bien pourvue en potasse et en acide phosphorique, et elle renferme des quantités extrêmement élevées de carbone et d'azote organiques. Elle ne contient pas de calcaire.

La terre argilo-calcaire de Saint-Cyr possède une teneur en argile très considérable ; elle est riche en potasse et en acide phosphorique, mais elle est très pauvre en azote.

D. — CONSTITUTION DES SOLS A DOSES PROGRESSIVES DE CALCAIRE

Nous avons d'abord réservé, comme témoins, deux lots de terre de Pomeys ; l'un de ces deux lots a été laissé tel quel, pur et sans aucun mélange (sol N° 1) ; l'autre a reçu une pro-

Analyse chimique des terres de Pomeys, Charbonnières et St-Cyr

	TERRE DE POMEYS I	TERRE DE POMEYS II	TERRE de bruyère de CHARBONNIÈRES	TERRE de ST-CYR
Analyse mécanique				
Graviers et cailloux	34,15	32,20	11,73	»
Débris de végétaux	»	»	12,12	»
Terre fine	65,85	67,80	76,15	»
	100,00	100,00	100,00	»
Densité réelle	2,584	2,550	1,726	2,532
Analyse physico-chimique				
Humidité	1,56	1,54	7,86	3,89
Débris organiques	»	»	42,97	»
Gros sable siliceux	72,77	76,04	40,82	31,49
Gros sable calcaire	traces	traces	0,23	12,54
Sable fin siliceux	18,84	16,16	4,84	20,28
Sable fin calcaire	traces	traces	0,14	5,93
Argile	6,75	5,67	0,69	26,05
Humus	»	»	1,78	»
	99,92	99,41	99,33	100,18
Analyse chimique				
Silice et matières insolubles (acide azotique bouillant)	89,609	89,388	44,215	67,481
Eau et matières organiques	5,225	5,529	52,606	8,626
Alumine	1,783	1,937	0,620	1,718
Sesquioxyde de fer	2,584	2,719	1,587	4,900
Sesquioxyde de manganèse	0,146	0,141	0,073	0,061
Chaux (CaO)	0,023	0,025	0,140	9,720
Magnésie (MgO)	0,127	0,121	0,020	0,168
Potasse (K^2O)	0,105	0,100	0,205	0,245
Soude (Na^2O)	0,070	0,072	0,051	0,085
Acide phosphorique (P^2O^5)	0,087	0,083	0,210	0,185
Acide sulfurique (SO^3)	0,005	0,007	0,061	0,008
Acide carbonique	traces	traces	traces	6,298
Chlore	0,003	0,003	0,014	0,003
	99,767	100,125	99,802	99,498
Azote °/₀	0,042	0,043	1 057	0,039
Carbone °/₀	»	»	21,881	»

portion de 10 o/o de terre de bruyère, pour remédier un peu à la pauvreté en azote et en carbone (sol N° 2). Tout le reste de la terre de Pomeys, destiné à être mélangé à la terre calcaire type, a reçu aussi 10 o/o de terre de bruyère.

Puis, pour obtenir des terres contenant des doses connues et progressives de calcaire, nous avons composé, en mélangeant la terre mixte Pomeys-10 o/o-Charbonnières à la terre calcaire type, en proportions convenables et rigoureusement pesées, des sols aussi homogènes que possible, dosant successivement 2, 4, 6, 9, 12, 15, 20, 25, 32, 50 et 75 o/o de calcaire. Un dernier sol a été constitué par la terre calcaire type à 96 o/o.

Voici donc, en définitive, la liste complète de toutes nos terres de culture :

SOLS	DOSAGE APPROXIMATIF			DOSAGE RÉEL AU CALCIMÈTRE	
N° 1 (Sols témoins)	0	o/o	(Terre de Pomeys pure)	0	o/o
N° 2 (Sols témoins)	0	—	(Mélange Pomeys-10 o/o-Charbonn.)	0	—
N° 3	2	—		2,26	—
N° 4	4	—		4,05	—
N° 5	6	—		6,02	—
N° 6	9	—		10,25	—
N° 7	12	—		12,25	—
N° 8	15	—		16.65	—
N° 9	15	—	(Terre de Saint-Cyr pure)	15,50	—
N° 10	20	—		21,33	—
N° 11	25	—		25,32	—
N° 12	32	—		32,51	—
N° 13	50	—		»	
N° 14	75	—		»	
N° 15	96	—		»	

Les mélanges avaient été faits déjà avant le dosage au calcimètre de la terre calcaire type, que nous avions supposée seulement à 90 o/o. C'est ce qui explique, avec les difficultés de manipulation d'aussi grandes quantités de terre, les différences constatées dans la deuxième colonne (dosage réel au calcimètre).

Dans la description des cultures, nous emploierons toujours le dosage approximatif, qui est bien suffisant.

En résumé, nous avons constitué ainsi une série de sols de composition chimique connue, correspondant à toute une série de terrains calcaires qu'il nous eût été impossible de trouver dans la région lyonnaise. Tous ces sols, sauf la terre de Saint-Cyr argileuse et compacte, possèdent une constitution physi-

que moyenne, ce qui rend les résultats comparables et exempts de l'objection tirée des propriétés physiques différentes, sauf peut-être les légères différences provenant de la désagrégation plus ou moins lente du calcaire selon sa proportion.

E. — RÉCIPIENTS

Les sols dosant de 0 à 32 o/o de calcaire ont été disposés, sans tassement, dans de grandes caisses en bois préalablement bien nettoyées et percées de quelques orifices à leur face inférieure pour permettre l'écoulement de l'eau en excès.

Quant aux mélanges dosant 50, 75 et 96 o/o, nous les avons placés simplement dans des pots en terre cuite.

F. — ESPÈCES EXPÉRIMENTÉES

Notre but unique étant d'étudier la façon dont se comportent les plantes réputées silicicoles lorsqu'on les oblige à végéter en sols calcaires, nous avons tenu à n'opérer que sur des espèces aussi caractéristiques que possible. Nous ne nous sommes donc préoccupé aucunement des plantes indifférentes ou calcicoles, ces dernières pouvant faire l'objet d'expériences ultérieures en sols siliceux.

Voici l'énumération des plantes expérimentées :

1° Semis

Crucifères. — *Teesdalia nudicaulis* (graines reçues de la maison Haag et Schmidt, à Erfurt, Prusse).

Hypéricacées. — *Hypericum humifusum* (graines reçues du Conservatoire botanique du Parc de la Tête-d'Or, à Lyon).

Hypericum pulchrum (Parc et Erfurt).

Papilionacées. — *Orobus tuberosus* (*Lathyrus macrorrhizus*) (Erfurt).

Trifolium arvense (Parc).

Lupinus polyphyllus (Parc).

Ornithopus perpusillus (Parc).

Ornithopus sativus (Erfurt).

Paronychiacées. — *Scleranthus perennis* (Parc).

Campanulacées. — *Jasione montana* (Erfurt).
Jasione perennis (Erfurt).
Labiacées. — *Galeopsis ochroleuca* (Parc).
Scrofulariacées. — *Digitalis purpurea* (graines reçues de M. le professeur Magnin, de Besançon).
A titre accessoire : Blé, Maïs, Haricot.

2° Transplantations

Crucifères. — *Teesdalia nudicaulis.*
Roripa pyrenaica.
Papilionacées. — *Orobus tuberosus.*
Ornithopus perpusillus.
Paronychiacées. — *Scleranthus perennis.*
Scleranthus annuus.
Crassulacées. — *Sempervivum tectorum* (à titre accessoire).
Campanulacées. — *Jasione montana.*
Labiacées. — *Galeopsis ochroleuca.*
Scrofulariacées. — *Anarrhinum bellidifolium.*
Composées. — *Filago arvensis.*
Filago minima.

Nous eussions voulu expérimenter quelques autres espèces, telles que *Thlaspi silvestre*, *Spergula pentandra*, *Illecebrum verticillatum*, *Herniaria hirsuta*, *Senecio adonidifolius*, *Andryala sinuata*, *Campanula cervicaria*, etc., mais nous n'avons pu nous procurer, au début de nos recherches, des graines de ces différentes espèces.

G. — ENTRETIEN DES CULTURES

Toutes nos cultures ont été arrosées exclusivement au moyen de l'eau distillée et placées à l'air libre, dans des conditions égales de température, lumière, exposition, etc.

II

MARCHE DES CULTURES

1° SEMIS

a. Germination

Avant la semaille, les graines de chaque espèce ont été bien mélangées, puis divisées en autant de lots que de sols. La surface de ces derniers ayant été elle-même divisée en autant de parties que d'espèces à semer, nous avons effectué les semis du 25 mars au 10 avril, le même jour pour chaque espèce, dans les cases ainsi formées. *Digitalis purpurea* n'a été semé que le 15 avril.

Observation importante. — Bien que nous ayons opéré sur de grandes quantités de terre et dans des récipients spacieux, nous n'avons pu, bien entendu, semer pour chaque espèce qu'un très petit nombre de graines, deux ou trois seulement même pour *Lupinus* et *Orobus* en particulier —

Quelques jours plus tard, malgré une température fort peu clémente (10 à 12 degrés seulement), les graines des différentes espèces ont germé très bien, et à peu près simultanément, à un ou deux jours d'intervalle, dans tous les sols, calcaires ou non ; c'est à peine si nous avons pu constater un léger retard dans les sols les plus calcaires.

Le *Galeopsis ochroleuca* seul a fait exception ; il n'a germé nulle part, parce que les graines étaient probablement ou trop fraîches ou trop vieilles. Nous avons constaté, en outre, que les plantules apparues ont végété très lentement dans les sols calcaires ; à partir de 9 à 12 o/o, les cotylédons ont persisté pendant plus de deux mois sans se résorber. Les parties épicotylées et les premières feuilles se sont développées d'abord dans les sols siliceux ou très peu calcaires. Dès l'origine donc, et malgré une germination à peu près simultanée, il y a un retard sensible et incontestable de végétation dans

les sols calcaires. Ce retard, proportionné à la dose de calcaire, n'a fait que s'accentuer par la suite, ainsi que nous allons le voir. En outre, par suite de la prolongation des journées froides, un bon nombre de petites plantules ont péri.

b. Végétation post-germinative

Une fois les plantules *parties*, c'est-à-dire dès leur entrée en accroissement végétatif rapide, le développement s'est effectué à peu près normalement dans les sols siliceux N^os^ 1, 2 et 3 ; nous disons *à peu près*, car l'eau distillée est loin de valoir l'eau ordinaire pour l'arrosage des plantes ! Voici d'ailleurs, d'après le journal de nos observations, la marche résumée de la végétation dans chaque sol (1).

Sol N° 1 (0 o/o) (Terre de Pomeys pure).

Caisses I et II

Teesdalia nudicaulis : Les plantules se sont développées normalement, mais lentement. Les individus sont d'un vert très foncé ; aucun d'eux n'a fleuri (2).

Hypericum humifusum : La végétation a été extrêmement lente jusqu'au mois de juillet ; à ce moment, les plantes ont atteint leur maximum, quoique restant au-dessous de la taille normale. Quelques fleurs, auxquelles des graines ont succédé, se sont formées au mois d'août ; au début d'octobre, quelques feuilles commencent à jaunir et à tomber.

Hypericum pulchrum : Espèce restée chétive, quoique d'un vert foncé ; pas de fleurs.

---

(1) Nous jugeons superflu de relater en détail les notes de notre journal d'observations ; cela allongerait considérablement et inutilement notre mémoire ; nous préférons donner un court et exact résumé de la marche générale de la végétation.

(2) Nous attribuons le défaut de floraison de plusieurs espèces en grande partie au mode d'arrosage à l'eau distillée. Ajoutons que, malgré cela, les conditions de végétation étant rigoureusement semblables dans tous nos sols, les résultats obtenus sont parfaitement comparables.

Orobus tuberosus : Espèce restée faible, mais d'un vert extrêmement prononcé ; pas de fleurs (1).

Trifolium arvense : Développement à peu près normal, quoique faible ; feuilles restées constamment bien vertes ; fleurs et fruits dès la fin juin.

Lupinus polyphyllus: Développement végétatif médiocre; feuilles grandes et très vertes ; mais pas de floraison.

Ornithopus perpusillus : Développement normal ; floraison et fructification dès la mi-juin.

Ornithopus sativus: Développement excellent; haute taille des plantes ; fleurs nombreuses et fruits se formant sans discontinuer depuis la mi-juin jusqu'à la fin octobre.

Scleranthus perennis : Développement normal ; fleurs et fruits au mois de juillet.

Jasione montana : Bon développement ; floraison effectuée en juillet.

Jasione perennis: Développement très lent; les plantes n'ont que leurs feuilles radicales, bien vertes d'ailleurs ; les hampes florales ne se sont pas développées.

Digitalis purpurea : Très bonne végétation ; les feuilles ont atteint une taille très développée, un peu moins toutefois qu'en station naturelle. Il ne saurait être, bien entendu, question de floraison pour cette espèce, qui est bisannuelle.

Les Maïs, Blé et Haricots ont eu une très bonne végétation.

Les Haricots ont fleuri et fructifié dès le début de mai.

Le Blé a formé de beaux épis dans le courant de juin, et le Maïs a opéré sa floraison quelques jours plus tard.

Sol N° 2 (0 o/o) (Pomeys-Charbonnières)

Caisses III et IV

La végétation des différentes espèces a suivi une marche très analogue à celle du sol N° 1.

---

(1) Les Légumineuses expérimentées n'ont pu atteindre de fortes tailles et plusieurs n'ont pas fleuri, parce que les sols étaient absolument privés de microbes des nodosités, et n'avaient reçu aucun ensemencement de *Rhizobium*.

Toutefois, les *Ornithopus perpusillus* ont paru un peu moins vigoureux que dans la terre gneissique pure ; au contraire, les *Ornithopus sativus* ont atteint une taille encore plus élevée, atteignant, chez certains individus, jusqu'à 35 ou 40 centimètres de hauteur au-dessus du sol.

Sol N° 3 (2 o/o)

Caisses V et VI

Végétation analogue, en général, à celle des sols à 0 o/o.

Il y a déjà pourtant une diminution, à peine sensible, il est vrai, dans la taille de certaines espèces, notamment *Lupinus*, *Orobus* et *Digitalis*.

Les *Trifolium*, au contraire, paraissent un peu plus grands. Toutes les espèces ont leurs feuilles bien vertes, aucune trace de jaunissement.

Sol N° 4 (4 o/o)

Caisses VII et VIII

Végétation générale très bonne encore pour la plupart des espèces ; néanmoins, ainsi que le montrent quelques-unes des planches annexées à notre texte, il y a, chez *Orobus*, *Teesdalia*, *Digitalis*, *Jasione*, *Lupinus*, une très sensible diminution dans la hauteur des plantes d'abord, et dans la dimension proportionnelle des feuilles, d'autre part.

Chez *Ornithopus perpusillus*, *Hypericum*, cette double diminution est également très sensible.

Chez *Ornithopus sativus*, la différence porte davantage sur la dimension moins grande des limbes foliaires que sur la hauteur de la plante qui est cependant diminuée aussi.

Les *Lupinus* et le *Maïs* ont des feuilles d'une teinte violacée.

Aucune manifestation bien franche de chlorose ; la plupart des plantes sont encore bien vertes ; néanmoins, l'aspect général tend déjà à tourner à un vert moins accusé. Nos notes d'observations accusent surtout un vert déjà pâle chez *Orobus tuberosus*, les *Ornithopus* et *Hypericum pulchrum*.

En outre, *Hypericum humifusum* et *Jasione montana* n'ont pas fleuri.

Les *Ornithopus* et *Trifolium* ont fleuri avec un retard sensible, de plus de huit jours, sur leurs congénères des sols à 0 o/o.

Sol N° 5 (6 o/o)

Caisses IX et X

Végétation générale déjà beaucoup moins vigoureuse dans l'ensemble.

Nouveau retard de plusieurs jours sur le sol N° 4, dans la floraison d'*Ornithopus* et *Trifolium* ; les autres espèces n'ont eu, à partir de ce sol à 6 o/o, aucune floraison, sauf, bien entendu, les Maïs, Blé et Haricot, qui ne sont pas silicicoles, et que nous avions semés à titre accessoire.

L'inspection des photographies montre que la faiblesse générale s'accuse surtout chez *Orobus tuberosus*, *Lupinus polyphyllus*, *Digitalis purpurea*. Elle est également très marquée chez les autres espèces non représentées.

La teinte verte des feuilles devient beaucoup plus pâle chez la plupart des espèces. Nos notes portent même l'apparition de nombreuses feuilles jaunes dans les semis de *Digitalis pupurea*, *Orobus tuberosus*, *Ornithopus perpusillus ;* cette dernière espèce, après avoir végété très chétivement, a péri presque complètement vers la mi-juin ; tandis que les *Ornithopus sativus* ont continué à végéter, quoique assez mal.

Sol N° 6 (9 o/o)

Caisses XI et XII

La végétation générale devient encore plus défectueuse, notamment chez les *Hypericum*, *Teesdalia*, *Digitalis*. Notons une particularité (déjà remarquée à 6 o/o) chez *Orobus tuberosus* : les feuilles sont restées très petites, mais tandis que les plus anciennement formées sont assez bien vertes, les nouvelles sont encore plus petites et jaunâtres ; au 1er juillet, la chlorose est manifestement déclarée chez cette espèce et toutes les feuilles sont jaunes. La teinte jaunâtre se manifeste aussi chez les *Jasione*, *Ornithopus*, *Lupinus*. Chez cette dernière

espèce, le limbe est comme tacheté et marbré ; on dirait un essai de panachures.

Nombreux décès à enregistrer chez les *Scleranthus, Ornithopus perpusillus* (qui ont presque tous péri vers la fin juin), *Jasione perennis* (qui ont péri complètement aussi). *Ornithopus sativus* et *Trifolium arvense* sont les seules espèces silicicoles qui aient fleuri, et avec un retard sur les sols précédents ; en outre, les fleurs sont moins nombreuses et paraissent plus petites ; les fruits qui leur succèdent ont également, ainsi que le montre la photographie, une taille très inférieure à celle des fruits formés à 0 o/o ou à 2 o/o.

Sol N° 7 (12 o/o)

Caisses XIII et XIV

La double défectuosité de végétation s'aggrave : d'une part, atrophie progressive des organes végétatifs et absence de floraison ; d'autre part, augmentation d'intensité des teintes chlorotiques des feuilles.

Les *Trifolium* ont présenté ce caractère d'avoir jusqu'à fin août des feuilles complètement rouges. La floraison de cette espèce, chez laquelle aussi la diminution de taille a été peu marquée, se continue encore en octobre, en retard par conséquent, puisque les fleurs ont depuis longtemps disparu à 0 o/o.

Sol N° 8 (15 o/o)

Caisses XV et XVI

Les *Lupinus*, *Hypericum pulchrum*, *Scleranthus*, *Ornithopus perpusillus*, ont tous péri. Seul, un pied de *Lupinus* a persisté misérablement jusqu'en octobre ; nous l'avons même cru mort à un moment donné.

Des trois pieds d'*Orobus*, extrêmement chétifs, l'un est d'un vert jaunâtre (il est représenté sur la planche de l'*Orobus*), l'autre est complètement chlorosé, le troisième est mort ; au 10 juillet, la chlorose a complètement envahi le premier, et en septembre il ne reste qu'un pied vivant et dans un état pitoyable.

Les autres espèces sont à l'avenant, et toutes manifestement chlorosées. Les fleurs ne donnent plus de fruits chez *Ornithopus sativus*.

Sol N° 9 (15,50 o/o)

Caisse XVII (1)

La végétation dans cette terre de Saint-Cyr a été très instructive, parce qu'elle nous a montré l'influence de la constitution physique du sol venant s'ajouter à l'influence de la composition chimique. En effet, les espèces qui préfèrent les sols sablonneux, telles que *Ornithopus perpusillus*, *Scleranthus perennis*, *Teesdalia nudicaulis*, *Hypericum*, *Digitalis purpurea*, n'ont pu résister à la double influence du calcaire et de la compacité du sol ; les pieds ont péri jusqu'au dernier, dans le délai d'un à deux mois après leur germination.

Les espèces qui ont résisté, notamment *Orobus*, *Lupinus*, *Jasione*, *Ornithopus sativus*, sont extrêmement chétives et très intensément chlorosées.

L'examen du système radiculaire démontre qu'il est peu développé chez la plupart des espèces, par suite de la difficulté de pénétration, le sol contenant une dose extrêmement élevée d'argile.

Aucune fleur ne s'est formée, sauf chez *Trifolium arvense*

Sol N° 10 (20 o/o)

Caisses XVIII et XIX

Cinq ou six espèces seulement ont résisté à cette dose de carbonate de chaux.

Les *Lupinus*, *Orobus*, *Teesdalia*, *Ornithopus*, *Scleranthus*, *Hypericum pulchrum*, ont tous disparu.

Les *Jasione montana*, *Hypericum humifusum*, sont si chétifs qu'on les distingue à peine au-dessus du sol ! Aucune fleur.

---

(1) N'ayant que peu de terre de Saint-Cyr (15 kilogrammes environ) à notre disposition, nous n'avons pu y semer que les espèces les plus importantes.

Sol N° 11 (25 o/o)

Caisses XX et XXI

Mêmes observations que pour le sol à 20 o/o, avec, en outre, disparition complète de *Jasione*, *Trifolium*, *Ornithopus perpusillus*.

Sol N° 12 (32 o/o)

Caisses XXII et XXIII

Les seules espèces qui aient pu végéter dans cette dose de calcaire sont: *Digitalis purpurea*, *Hypericum humifusum* et *Ornithopus sativus*. Encore vaudrait-il autant n'en pas parler, car les rares individus qui n'ont pas péri sont si petits qu'on les distingue à peine. *Ornithopus sativus* a d'ailleurs péri entièrement dans le courant de septembre.

En six mois de végétation, *Digitalis* n'a pas deux centimètres, et *Hypericum* un centimètre de hauteur ! Nous savons bien que l'on peut incriminer aussi l'arrosage à l'eau distillée, le peu de fertilité du terrain, mais tous les sols étant dans les mêmes conditions, les résultats sont toujours comparables et, on le voit, éminemment suggestifs et démonstratifs.

Sols N^os^ 13, 14 et 15 (50, 75, 96 o/o)

Les graines que nous avons semées dans les pots renfermant ces sols ont, ainsi que nous l'avons dit déjà, parfaitement germé ; mais les jeunes plantules n'ont pu développer et résorber leurs cotylédons, et au bout de quelques jours, toutes sont mortes ; les espèces qui sont parvenues pourtant à former deux ou trois feuilles, extrêmement atrophiées et chlorotiques d'ailleurs, sont : *Orobus, Jasione montana*, *Ornithopus sativus* ; mais, au bout de trois semaines, il ne restait plus trace de végétation à la surface des pots.

Appendice : 2^e^ semis de Scleranthus perennis

Le 10 août, nous avons, au moyen de graines récoltées sur des individus rapportés adultes de la Tour-de-Salvagny, effec-

tué un second semis, dans tous les sols, du *Scleranthus perennis*. La planche annexée à notre travail représente l'état des plantes vers le 1er octobre. La décroissance en raison directe de la dose de calcaire est, on le voit, extrêmement nette et régulière.

A ce propos, nous devons faire remarquer que chez les espèces à feuilles étroites et linéaires, la diminution dans la dimension des feuilles sous l'influence du calcaire est proportionnellement moins marquée que chez les espèces à feuilles larges et minces. Quant à la chlorose, elle se manifeste d'une façon analogue et progressive chez les unes et les autres.

c. Conclusions de la végétation des semis

Germination (1). — 1° Les graines des plantes silicicoles, même des calcifuges les plus exclusives, germent parfaitement bien (toutes autres conditions suffisantes d'ailleurs) dans tous les sols calcaires ou non ; c'est à peine si l'on constate un très léger retard dans les sols les plus calcaires.

2° A l'apparition des plantules, les cotylédons, dans les sols très calcaires, persistent longtemps sans se résorber, ce qui démontre une insuffisance et un trouble de la nutrition. C'est d'abord dans les sols siliceux ou très peu calcaires que les premières feuilles se développent. Dès l'origine donc, et malgré une germination à peu près simultanée, il y a un retard sensible de végétation dans les sols calcaires. Ce retard de végétation ne fait que s'accentuer dans la suite du développement.

Végétation post-germinative. — 3° Le développement post-germinatif, ou accroissement végétatif, s'opère à peu près normalement dans les sols siliceux (la locution restrictive *à peu près* provient de ce que les arrosages ont été exécutés au moyen de l'eau distillée, pour éviter l'apport de calcaire en dissolution dans les eaux naturelles et notamment dans les eaux du Rhône, les seules que nous ayons à notre disposition).

---

(1) Voyez, au chapitre 1er, l'action de l'eau sur la germination (expériences antérieures et personnelles).

4° En sols calcaires, le développement des plantes calcifuges est extrêmement lent et défectueux ; cette défectuosité est d'autant plus accusée que le sol contient une plus forte proportion de carbonate de chaux, et lorsque cette proportion atteint un certain taux, un peu variable selon les espèces, mais ne dépassant pas, en général, 12 à 15 o/o, les espèces qui ne périssent pas ne fournissent que des individus extrêmement grêles, chétifs et manifestement chlorotiques.

5° Non seulement le développement est ralenti et la chlorose manifeste chez les calcifuges végétant en sols calcaires, mais la phase reproductrice de l'évolution de l'individu ne peut s'accomplir. La formation des organes reproducteurs est singulièrement défectueuse et, dans tous les cas, les fleurs des plantes silicicoles en sols calcaires apparaissent beaucoup plus tardivement et en plus petit nombre qu'en sols siliceux normaux. La fructification, conséquence de la floraison, est donc ordinairement absente.

2° TRANSPLANTATIONS

a. Observations générales

Nour avons donné ci-devant la liste des espèces que nous avons transplantées. Les individus ayant servi à ces expériences ont été recueillis, par nous-même, aux environs de Vaugneray et de la Tour-de-Salvagny (en plein granite et gneiss, par conséquent), vers le milieu du mois du mai.

Débarrassés avec soin de la terre entourant leurs racines, ils ont été transplantés aussitôt, et simultanément pour la même espèce, dans les différents sols.

Observations générales. — Voici les principales observations auxquelles ces repiquages ont donné lieu :

Sol N° 1 (0 o/o) (terre de Pomeys pure)

Toutes les espèces transplantées ont parfaitement repris et ont continué leur développement normal.

C'est ainsi que *Scleranthus perennis* et *annuus*, *Jasione montana*, *Anarrhinum bellidifolium*, *Filago*, *Ornithopus perpusillus*,

oripa pyrenaica, transplantés au début ou au milieu de la floraison, ont formé de nouvelles et abondantes fleurs qui, à leur tour, ont donné des graines bien constituées.

Anarrhinum bellidifolium, en particulier, a développé sans interruption jusqu'en septembre ses longues grappes de petites fleurs bleues.

Galeopsis ochroleuca, transplanté à l'état jeune, avant la floraison, a parfaitement fleuri et donné des graines. Quant à l'*Orobus tuberosus*, bien qu'ayant repris parfaitement et étant resté d'un beau vert, il n'a donné aucune fleur. Cela provient, d'après nous, comme pour les semis de cette espèce, de la pauvreté du sol en azote et en *Rhizobium leguminosarum*.

Teesdalia nudicaulis, transplantée, déjà fructifiée, a continué à vivre et n'a dépéri que plusieurs semaines après le repiquage. Nous devons ajouter, toutefois, que cette espèce nous a paru d'une reprise extrêmement difficile, car si quelques pieds ont persisté, beaucoup n'ont pas repris. Les résultats des transplantations de cette espèce ne présentent donc pas toutes les garanties désirables pour les comparaisons dans les divers sols.

Sol N° 2 (0 o/o) (mélange Pomeys-Charbonnières).

Les résultats des transplantations sont absolument identiques à ceux du sol N° 1.

Sol N° 3 (2 o/o)

Résultats à peu près identiques.

Sol N° 4 (4 o/o)

La plupart des espèces transplantées ont bien résisté, sauf toutefois les *Teesdalia* et *Filago*, qui ont tous péri huit ou dix jours après la transplantation.

Sol N° 5 (6 o/o)

Ont péri dans un délai plus ou moins long, mais en moins d'un mois: *Teesdalia, Filago, Scleranthus perennis* et *annuus*,

puis, quelque temps après, *Jasione*, *Anarrhinum*. Les autres espèces ont assez bien résisté.

Sol N° 6 (9 o/o)

Ont péri plus ou moins rapidement : *Teesdalia*, *Filago*, *Scleranthus*, *Jasione*, *Anarrhinum* ; toutes ces plantes jaunissent plus ou moins avant de périr.

Sol N° 7 (12 o/o)

Mêmes observations que dans le sol N° 6. En outre, *Roripa pyrenaica*, transplanté en fleurs, a manifesté des signes de dépérissement.

Après trois ou quatre jours, les tiges et les petites feuilles caulinaires ont complètement jauni et ont péri successivement ; les fleurs n'ont pas donné de graines. Mais, au bout de quelques semaines, alors que nous croyions cette espèce complètement morte, nous avons vu apparaître, à la base des pieds desséchés, une rosette de feuilles radicales, bien vertes, qui persistent encore, bien qu'elles aient eu à souffrir, comme plusieurs autres espèces d'ailleurs, des insectes (et en particulier des chenilles).

Orobus tuberosus a persisté, mais n'a plus formé que des feuilles petites et chlorotiques.

Galeopsis ochroleuca a végété aussi bien qu'en sol siliceux normal !

Sol N° 8 (15 o/o).

La végétation des individus transplantés s'est effectuée à peu près comme dans le sol précédent.

Sol N° 9 (15,5 o/o).

Nous n'avons pu transplanter, faute de place, que deux espèces dans la terre de Saint-Cyr ; ce sont le *Galeopsis ochroleuca*, qui a continué à vivre parfaitement bien jusqu'à la fin octobre ; et le *Scleranthus perennis*, qui a péri rapidement.

Sols N^os^ 10 et 11 (20 et 25 o/o).

Dans ces sols déjà très calcaires, trois espèces seulement ont pu résister.

Orobus tuberosus, qui est devenu chlorotique et a perdu les rameaux qu'il possédait au moment de la transplantation. Ces rameaux, ainsi que leurs feuilles, sont devenus complètement noirs ; comme pour *Roripa pyrenaica*, nous avions cru cette plante morte, mais, après quelques jours, nous avons vu sortir de terre quelques rameaux grêles et jaunes, qui persistent encore d'ailleurs.

Roripa pyrenaica persiste également ; quelques-unes de ses feuilles radicales sont d'un vert assez franc, d'autres sont entièrement jaunes.

Galeopsis ochroleuca persiste très bien ; ses feuilles sont bien vertes ; quelques-unes seulement ont jauni au début.

Ornithopus perpusillus a présenté une particularité : un individu transplanté en fleurs n'a pas donné de graines, bien qu'il ait vécu encore pendant plusieurs semaines.

Sol N° 12 (32 o/o)

Deux espèces seulement, *Roripa pyrenaica* et *Galeopsis ochroleuca*, ont résisté à cette dose de calcaire.

Roripa est devenu toutefois presque complètement chlorotique, et ses feuilles sont beaucoup plus petites que dans les sols moins calcaires.

Galeopsis est aussi plus chétif que dans les autres sols et n'a fourni que peu de fleurs.

Un individu d'*Ornithopus perpusillus*, transplanté en fleurs, a survécu pendant longtemps, après avoir jauni, mais sans donner de fruits et sans manifester le moindre accroissement.

Sol N° 13 (50 o/o)

Faute de place, nous avons transplanté dans ce sol deux espèces seulement : *Orobus tuberosus* et *Jasione montana*.

Ces deux espèces ont vivoté quelques semaines, en jaunissant progressivement et sans s'accroître, puis ont péri dans la première quinzaine de juillet.

Sol N° 14 (75 o/o)

Mêmes plantes transplantées et mêmes observations que pour le sol précédent.

Sol N° 15 (96 o/o)

Trois espèces ont été transplantées dans ce sol : *Orobus tuberosus*, *Jasione montana* et *Galeopsis ochroleuca*.

Ces trois espèces, dans une pareille dose de calcaire, ont, naturellement, péri, mais après avoir résisté néanmoins pendant plusieurs semaines.

Appendice

Sol N° 1 bis (0 o/o) (Caisses XXIV et XXV)

1° Nous avons placé dans deux caisses complémentaires le reliquat de notre terre de Pomeys pure, et nous y avons transplanté les individus qui n'avaient pas été placés dans les autres sols.

Les résultats ont été à peu près semblables aux sols N^{os} 1 et 2; toutes les espèces ont parfaitement repris et ont continué jusqu'à la fin leur végétation, sauf *Teesdalia nudicaulis* qui paraît rebelle à la reprise complète.

2° Nous avons transplanté, à titre accessoire, des *Sempervivum tectorum* dans les sols à 0 o/o, 4 o/o, 9 o/o, 15 o/o, 20 o/o, 32 o/o, 75 o/o et 96 o/o. Dans tous ces sols, cette espèce a végété parfaitement, avec cette différence toutefois que l'accroissement a été moindre dans les plus calcaires. En outre, à partir de 32 o/o, quelques feuilles de la périphérie et celles du centre de chaque individu ont pris un aspect vert-jaunâtre pâle qui est dû, ainsi que nous le verrons au chapitre des altérations microscopiques, à l'accumulation dans les tissus d'une quantité considérable de petits cristaux calciques.

b. Conclusions tirées des transplantations

1° Il résulte des essais de transplantations relatés ci-dessus que les plantes calcifuges se comportent différemment selon qu'on les oblige à végéter dans les sols calcaires par transplantation ou par semis.

En effet, un certain nombre de plantes silicicoles transportées en pleine végétation dans une terre peu ou moyennement calcaire peuvent continuer à végéter longtemps, mais ordinairement sans s'accroître sensiblement. La plupart périssent plus ou moins rapidement sans pouvoir s'adapter à leur nouveau substratum.

2° Les plantes silicicoles résistent donc mieux au calcaire par transplantation que par semis. Toutefois, la végétation des espèces qui semblent le mieux résister au calcaire par transplantation (*Roripa pyrenaica*, *Galeopsis ochroleuca* notamment) est toujours très défectueuse, puisque cette végétation se réduit à l'équilibre des recettes et des dépenses, sans manifester aucun accroissement.

3° Nous pouvons classer comme suit les espèces silicicoles dont nous avons étudié la résistance au calcaire par la méthode du repiquage :

1. *Teesdalia nudicaulis*
2. *Filago arvensis* et *minima*
3. *Scleranthus perennis* et *annuus*
4. *Anarrhinum bellidifolium*
5. *Ornithopus perpusillus*
6. *Jasione montana*
7. *Orobus tuberosus*
8. *Roripa pyrenaica*
9. *Galeopsis ochroleuca.*

Ces deux dernières espèces se distinguent de toutes les autres par leur résistance. Nous remarquons que le *Galeopsis ochroleuca* est aussi, d'après P. Lesage, la plante qui paraît résister le mieux au sel marin.

CHAPITRE CINQUIÈME

ÉTUDE MORPHOLOGIQUE DES PLANTES EXPÉRIMENTÉES

Nous étudierons :

I. La *morphologie externe* (études macroscopiques : caractères extérieurs).

II. La *morphologie interne* (études microscopiques: histologie générale et spéciale).

I. — MORPHOLOGIE EXTERNE

Nous étudierons successivement l'aspect extérieur de chacune des espèces dans les divers sols, en envisageant seulement les caractères tirés de la forme et des dimensions respectives, réservant l'étude spéciale de la coloration pour la deuxième partie de notre travail (*chlorose*).

1° PLANTES SEMÉES

Teesdalia nudicaulis (Pl. I). Les principales différences que révèle l'étude morphologique externe des *Teesdalia*, dans les divers sols, sont :

1° Diminution graduelle, selon l'augmentation du calcaire, de la dimension du limbe des feuilles ;

2° Dans les sols moyennement calcaires, le limbe possède encore ses découpures, qui paraissent même plus accusées (Pl. I, 6 o/o) qu'en sol siliceux normal ;

3° Dans les sols plus calcaires (Pl. I, 9 o/o et 15 o/o), les dentelures ont disparu et le limbe se trouve réduit à son lobe terminal, ce qui fait paraître le pétiole très allongé ;

4° Le système radiculaire nous a paru un peu plus développé (racines longues, grêles et nombreuses, mais non plus fortes

en épaisseur) dans les sols calcaires, comme si la plante cherchait de toutes parts dans le sol une région plus propice à sa nutrition.

Hypericum humifusum (Pl. II). En sols calcaires, la plante possède beaucoup moins de rameaux aériens ou rampants ; ses tiges sont plus grêles et portent des feuilles beaucoup plus réduites. Lorsque la dose de calcaire dépasse 20 o/o, les organes de la plante demeurent à l'état absolument rudimentaire. Les fleurs se sont formées seulement dans les sols à 0 o/o ; elles ont donné des graines (peu visibles sur la planche).

Hypericum pulchrum. En sols calcaires, il y a encore réduction progressive des dimensions de feuilles, sans parler de l'atrophie générale de la plante.

Orobus tuberosus (Pl. III). La réduction du limbe en surface est également très marquée dans cette espèce. Les individus des sols à 12 et 15 o/o possédaient encore au mois de septembre leurs cotylédons non résorbés, indice d'un défaut presque absolu de nutrition. L'inspection de la planche montre un développement proportionnel plus grand du système radiculaire dans les sols calcaires. Ce dernier caractère n'est peut-être pas absolu. Nos terres d'expériences étant fort pauvres en matières organiques et en microorganismes, il en résulte une absence presque complète de nodosités sur les racines.

Trifolium arvense. Chez cette espèce, la hauteur des plantes n'a pas subi de diminution progressive dans les sols calcaires ; la réduction du limbe foliaire a été aussi beaucoup moins accentuée que chez les autres espèces.

Les différences extérieures ont porté surtout sur la couleur des feuilles (qui a été toujours d'un vert franc dans les sols à 0 et 2 o/o, tandis qu'en sols calcaires les feuilles sont longtemps d'un rouge éclatant avant de virer au vert pâle ou au jaune chlorotique), et sur le retard dans la végétation et dans la floraison. Rappelons que cette espèce ne s'est néanmoins pas développée au-dessus de 15 à 20 o/o de calcaire.

Lupinus polyphyllus (Pl. IV, V et VI). Les variations morphologiques externes produites par le calcaire sont des plus nettes: 1° réduction progressive des folioles en longueur et en

largeur ; 2° passage progressif et régulier du vert très foncé à 2 o/o, au vert simple à 4 o/o, puis au vert jaunâtre à 6 et 9 o/o, et enfin au jaune clair et même au blanc jaunâtre à 12 et 15 o/o (Voir plus loin les *Etudes sur la chlorose*). Nous reproduisons ci-dessous nos dernières notes (1er octobre) concernant cette espèce.

	SOL A 0 o/o	SOL A 15 o/o
Feuilles	Planes, non gondolées Couleur vert foncé uniforme Poils normalement développés	Très gondolées. Couleur jaune par plages et marbrures, entre les nervures Poils paraissant un peu plus développés proportionnellement.

Chez cette espèce, le système radiculaire ne paraît présenter aucune différence bien nette, sauf les nodosités, qui sont très bien développées en sols siliceux, mais qui, en sols calcaires à 12 et 15 o/o, sont très rudimentaires et presque absentes.

L'explication de ce fait est aisée à fournir.

On sait, en effet, que les microbes retirés des plantes calcicoles (Luzernes, Trèfles, etc.) ne peuvent supporter l'acidité des milieux, tandis qu'au contraire ceux des plantes calcifuges (Ajoncs, Genêts, Lupins, etc.) supportent bien l'acidité des sols siliceux et mal l'alcalinité des sols calcaires. Les sols trop acides (sols tourbeux, terres de bruyère, etc.) ne contiennent pas, selon Raoul Bouilhac entre autres, de bactéries fixatrices d'azote. On sait aussi que le Lupin, dans les sols siliceux et argileux, développe dès la première année de nombreux tubercules radicaux microbifères qui lui ont fait donner, en Bretagne, le nom de *café des champs*. « Il semble donc, dit Mazé, que les microbes des Légumineuses s'adaptent non pas à une espèce végétale déterminée, mais à un sol de nature donnée. Ceux qui vivent dans un sol calcaire pénètrent dans les racines, malgré la réaction acide de leurs sécrétions, parce que les sels de chaux les neutralisent jusqu'à une certaine profondeur du tissu cortical ; mais, si on les transporte dans un milieu neutre ou légèrement acide, comme les sols siliceux, l'acidité des sécrétions n'étant plus neutralisée, les microbes ne peuvent pas parvenir à envahir les racines ». Ainsi les microbes silicicoles ne peuvent vivre en sols calcaires, et réciproquement. Ces faits nous expliquent donc

pourquoi les nodosités des Lupins et Orobes ne se forment pas en sols calcaires. C'est une des raisons, outre l'action directe du calcaire dans la plante, pour lesquelles ces Légumineuses sont calcifuges.

Ornithopus perpusillus. — Les variations morphologiques de cette espèce sont absolument comparables à celles des espèces précédentes ; diminution progressive de la taille des sujets, réduction des limbes foliaires, passage graduel du vert au jaune, etc.

Nous avons noté aussi chez cette espèce le développement plus marqué, dans les sols calcaires, des poils de la face inférieure des feuilles.

Ornithopus sativus (Pl. VII). La seule inspection de la planche nous dispense de toute description.

Scleranthus perennis (Pl. VIII). Il suffit également d'examiner la série complète reproduite fidèlement par la photographie, pour être édifié sur l'influence du calcaire. Chez ces deux dernières espèces, le rapprochement des individus à 0 o/o et à 32 o/o est véritablement suggestif, et si l'on peut, à la rigueur, mettre sur le compte d'autres causes la faible différence entre deux sols consécutifs, les esprits les plus incrédules ne peuvent se dispenser de se rendre devant l'évidence brutale si l'on ne considère que les extrêmes.

Jasione montana. Mêmes observations que pour les espèces précédentes. Dans les sols siliceux, le système radiculaire est normal, c'est-à-dire possède un pivot bien développé ; au contraire, en sols calcaires, le pivot est rudimentaire et les racines latérales se sont développées, en sorte que le système radiculaire, de pivotant qu'il doit être, est devenu fasciculé.

Jasione perennis. Remarques analogues.

Digitalis purpurea (Pl. IX). Le simple examen de la planche nous dispense également de tout commentaire.

Haricot. Les *Phaseolus* se développent fort bien à peu près indifféremment dans tous les sols ; néanmoins, ils nous ont paru souffrir dans les terres contenant plus de 20 o/o de calcaire. Les fleurs ont apparu d'abord dans les sols à 4 o/o, 6 o/o et 9 o/o, et seulement quelques jours plus tard dans les autres. Les

graines obtenues nous ont paru à peu près semblables dans tous les sols.

Blé. Le Blé s'est bien développé partout ; les chaumes ont été pourtant beaucoup plus courts dans les sols à 20 o/o et au-dessus. Les fleurs ont apparu successivement dans l'ordre suivant : 12, 9, 2, 4, 6 et 0 o/o simultanément ; puis 15 o/o, etc. jusqu'à 32 o/o. Les épis nous ont paru les plus beaux et les grains les plus gros dans les six premiers sols, incontestablement.

Malheureusement, les rats nous ont emporté ces épis avant maturité complète.

Maïs (Pl. X). Cette espèce nous a fourni des résultats intéressants. Bien que n'étant pas manifestement silicicoles, les plantes de cette espèce nous ont présenté des appareils végétatifs de moins en moins élevés en raison de la dose de calcaire. Ainsi les pieds à 0 o/o ont atteint exactement 1 mètre 35 centimètres de hauteur, et seulement $0^{m}70$ environ à 22 o/o. C'est dans le sol à 9 o/o que les épis ont apparu les premiers, puis dans le délai d'une semaine tous les autres sols ont ensuite fleuri. Nous avons remarqué aussi dans cette espèce des variations dans le système radiculaire : en sols siliceux, racines fortes, à nombreuses petites radicelles latérales ; en sols calcaires, racines faibles, très nombreuses, mais médiocrement pourvues en radicelles absorbantes. Nous avons tenu, à titre de document, à représenter cette espèce.

2° PLANTES TRANSPLANTÉES

Nous ne pouvons accorder autant d'importance aux variations, peu importantes d'ailleurs, observées chez les individus transplantés. Nous représentons néanmoins, dans la planche XI, le système radiculaire de quatre sujets de *Galeopsis ochroleuca*, déterrés avec soin après quatre mois et demi de changement de substratum. En sols siliceux, les racines sont fortes et longues ; en sols calcaires, les racines sont restées courtes, nombreuses et grêles.

3° CONCLUSIONS

En résumé, l'étude morphologique externe des espèces silicicoles de la flore sauvage, cultivées en sols calcaires, nous amène aux conclusions suivantes :

a. *Caractères constants* :

1° Atrophie générale de tous les organes aériens ; cette atrophie s'aggrave progressivement en raison du taux de calcaire contenu dans le sol, et plus ou moins rapidement selon les espèces.

2° Atrophie spéciale des dimensions des limbes foliaires, en longueur et en largeur.

3° Décoloration progressive, parallèle à la réduction en surface de ces mêmes limbes qui passent du vert intense au vert tendre, puis au vert jaunâtre, au jaune, au jaune crémeux.

4° Atrophie analogue, mais proportionnellement plus marquée en longueur qu'en épaisseur des pétioles.

5° Atrophie variable de l'appareil caulinaire.

b. *Caractères variables :*

Le système radiculaire ne paraît pas fournir de caractère bien constant. Pour les plantes semées, le système radiculaire devient grêle et s'allonge pour certaines espèces ; le système pivotant passe au système fasciculé.

Pour les plantes transplantées, il y a encore augmentation du nombre des racines et diminution en diamètre, mais les racines paraissent par contre s'allonger moins en sols calcaires qu'en sols siliceux. Dans les deux cas (semis et transplantations), les radicelles absorbantes paraissent être moins développées en sols calcaires qu'en sols siliceux normaux.

II. — MORPHOLOGIE INTERNE

Il ne saurait entrer dans notre plan de reproduire ici toutes les variations insignifiantes révélées par l'examen des coupes histologiques. Nous donnerons seulement un résumé de nos observations microscopiques, avec exemples choisis parmi les

plus typiques, en étudiant d'abord et successivement la *racine,* la *tige* et la *feuille,* puis le *contenu cellulaire,* des feuilles en particulier.

Nous devons déclarer, d'ores et déjà, que les altérations de structure produites par le calcaire dans les plantes silicicoles ne sont point aussi profondes et aussi importantes que l'on pourrait le croire *a priori* ; ces altérations histologiques ne sont pas aussi nettes que les variations révélées dans la forme et les dimensions des organes.

1° RACINE

a. Différenciation histologique générale

Les coupes que nous avons examinées pour étudier les variations de structure sous l'influence du calcaire ont été pratiquées pour chaque plante, en différents sols, en des régions aussi comparables que possible comme situation et diamètre.

Par la comparaison de ces coupes, nous avons pu constater que les différences histologiques sont toujours minimes et variables selon les espèces et même selon les individus.

Sans reproduire ici tous les détails observés, nous les résumerons et les caractériserons ainsi qu'il suit :

Les *poils absorbants* nous ont paru altérés et comme rabougris dans les sols calcaires; leur trajet est plus tortueux et les inégalités de leur surface sont plus accentuées.

Toutefois, il est facile de comprendre que ces différences minimes n'ont d'ailleurs rien d'absolu, car elles doivent varier nécessairement selon la quantité et la qualité du calcaire, selon la contexture physique du sol, sa température, son état d'humidité, etc., etc.

Le *parenchyme cortical* est plus caractéristique : il est proportionnellement moins développé que les autres tissus dans les racines qui végètent en sols calcaires. Cette différence est d'autant plus prononcée et plus sensible que la plante est plus forte ; ainsi, dans les racines très grêles (*Ornithopus*, etc.) et dans les racines primaires jeunes, elle est très minime et presque inappréciable ; dans les grosses racines, au contraire (Lupin, etc.), la différence est beaucoup plus prononcée : l'ins-

pection, même sommaire, des coupes montre de suite que les racines *calcicoles* ont une écorce réduite, tandis que les racines *silicicoles* ont leur parenchyme cortical normalement développé. La variabilité porte d'ailleurs seulement sur le nombre plutôt que sur la dimension des cellules.

Les *faisceaux libériens* sont à peu près semblables en sol siliceux et en sols calcaires, parfois cependant un peu moins développés dans ces derniers.

Quant aux *faisceaux ligneux*, ils sont incontestablement plus développés, pour des racines isodiamétriques, dans les racines calcicoles, ainsi que nous l'avons constaté chez la plupart de nos plantes expérimentées (*Lupinus*, *Ornithopus*, *Jasione*, *Digitalis*, etc.). Il semble même que ce soit à leur profit que la réduction corticale a été opérée. Nous en reparlerons d'ailleurs dans nos études sur la chlorose, et nous représenterons, à ce sujet, des coupes de Vigne, qui sont les plus démonstratives.

Le *parenchyme médullaire* central subit, comme le parenchyme cortical, une réduction en général assez marquée dans les racines des plantes silicicoles en sols calcaires.

En définitive, les variations histologiques que nous venons d'indiquer sont *peu considérables* et surtout *peu précises*. Nous ne pouvons qu'avec doute les donner comme générales, car il nous eût fallu, pour cela, étudier un bien plus grand nombre d'espèces. Nous engageons les naturalistes qui pourraient se procurer de nombreuses racines de végétaux silicicoles (Vignes américaines, etc.) en sols calcaires, à ne pas négliger l'examen histologique de leurs plantes, cet examen important pouvant aboutir à confirmer ou infirmer les résultats déjà acquis et les déductions physiologiques tirées de ces résultats.

b. Contenu cellulaire

L'étude microscopique du contenu cellulaire est assez intéressante ; les cellules pilifères ont leur contenu altéré, trouble et granuleux, et cet aspect donne l'impression d'un organite en voie de dégénérescence. L'examen des cellules du parenchyme des racines accidentellement calcicoles permet de

constater l'absence des matières de réserve et notamment des corpuscules amylacés. Nous aurons l'occasion, dans l'étude du processus chlorotique, de reprendre l'exposé des altérations cellulaires et de leur signification physiologique. Nous nous bornons, pour l'instant, à ces simples constatations.

2° TIGE

a. Différenciation histologique générale

Les variations morphologiques internes sont encore moins importantes dans la tige que dans la racine. Nous pouvons même ajouter qu'elles sont tellement minimes qu'il serait superflu de les signaler (sauf peut-être la prédominance, comme dans la racine, des éléments ligneux), d'autant plus qu'elles sont pour ainsi dire purement individuelles.

b. Contenu cellulaire

Seules, les tiges herbacées pourvues de chlorophylle éprouvent, dans leur contenu cellulaire, des changements profonds tout à fait semblables d'ailleurs aux changements dont sont le théâtre les cellules mésophylliennes. C'est donc avec ces dernières que nous les étudierons.

En deux mots, ces altérations consistent dans la non formation ou la disparition des réserves; la désagrégation des chloroleucites; la dégénérescence du protoplasme, etc. C'est ce que nous avons constaté dans les hampes florales ou les tiges vertes d'*Orobus tuberosus*, *Ornithopus*, *Roripa*, *Jasione*, etc.

Quant aux tiges, hampes et pétioles dépourvus de chlorophylle (*Galeopsis*, *Lupinus*, etc.), leur résistance à la désorganisation interne semble plus forte que celle des tiges vertes; mais, ne recevant des feuilles presque point de matières solides élaborées, ils dépérissent à leur tour après la mort du limbe.

Nous n'avions, dans nos espèces expérimentées, aucune plante à tige ligneuse ou à tige souterraine. Néanmoins, des observations faites par Flicue et Grandeau sur le Châtaignier,

l'Acacia et le Pin, et par Masclef sur les rhizomes de *Pteris*, concordent avec les résultats énoncés plus haut. Fliche et Grandeau ont constaté que lorsque le Châtaignier et le Pin arrivent à végéter dans des sols contenant un peu de calcaire, les rameaux sont courts et grêles, la moelle est moins développée et à contours moins accentués, le parenchyme cortical (écorce herbacée) est réduit et ne contient aucun dépôt de fécule.

Masclef, d'autre part, a constaté que lorsque le *Pteris aquilina* arrive, ce qui est fort rare, à croître dans le calcaire, ses rhizomes sont plus courts, ses racines plus nombreuses, plus serrées et plus développées, et la structure de sa tige souterraine révèle une réduction considérable des tissus de réserve.

3° FEUILLE

a. Différenciation histologique générale

La feuille est le siège des principales altérations anatomiques et physiologiques engendrées par le calcaire chez les plantes silicicoles.

Comme l'ensemble de ces altérations aboutit à l'apparition du complexus chlorotique, nous nous bornerons à en donner ici un simple aperçu, réservant les développements détaillés pour nos études sur la chlorose.

Déclarons tout d'abord que nous n'avons pas non plus observé, dans les feuilles altérées par le calcaire, de changement bien important de structure.

En comparant attentivement, et en des points analogues, deux feuilles de même dimension prises l'une en sol siliceux, l'autre en sols calcaires, à 15 o/o (*Lupinus*), 20, 25 ou 32 o/o (*Ornithopus*, *Jasione*, *Digitalis* (1), etc.), on peut constater une très faible réduction d'épaisseur du limbe et une diminution à peine sensible dans les dimensions des cellules. Les nervures conservent un assez bon développement dans les feuilles des

(1) Pour ces dernières plantes, il n'est pas facile de trouver des feuilles de même dimension dans les sols extrêmes, il faut les prendre dans les sols intermédiaires.

sols calcaires, de même que les accidents de surface (poils, papilles, etc.)

Ce résultat général trouve d'ailleurs une confirmation dans quelques observations isolées mentionnées par plusieurs auteurs. C'est ainsi que Ed. Griffon, en étudiant récemment les feuilles chlorotiques au point de vue de l'assimilation chlorophyllienne, a constaté que chez les feuilles jaunies par l'action du carbonate de chaux, «le mésophylle était identique comme épaisseur et comme différenciation à celui des feuilles vertes». Une observation méticuleuse révèlerait peut-être bien des variations dans telle ou telle coupe examinée, mais ces variations sont toujours, selon nous, trop légères, trop inconstantes pour être considérées comme *caractéristiques*, car, au surplus, nous n'admettons comme telles que des différences reconnues *notables* et *constantes*. D'excellents auteurs, tels que Lesage, Dassonville, ont ainsi constaté des variations de structure assez importantes sous l'action de sels divers ; ces variations se comprennent, puisque, dans la plupart des expériences auxquelles nous faisons allusion, les plantes ont été cultivées en substratum très spéciaux, souvent même dans l'eau, et dans ces conditions l'action de sels chimiquement et physiologiquement plus actifs que le calcaire (chlorure de sodium, sulfate de magnésie, nitrate et phosphate de potasse, etc.) peut et doit engendrer des changements importants dans la structure. Dans nos expériences il n'en est plus de même, nos plantes étant placées dans des sols naturels et à peu près complets, et nous devons admettre qu'en compensation de l'action dystrophique et toxique du calcaire, les différents aliments puisés dans ces *sols naturels* ont pu suffire à la différenciation normale des tissus, mais non à leur extension et à leur vie normales. Au surplus, les différences signalées par Lesage chez les plantes altérées par le sel marin sont peu considérables, et il n'a pu constater même aucune variation dans l'épiderme, les nervures, les vaisseaux et les sécrétions.

b. Contenu cellulaire

Si les variations d'agencement, d'épaisseur, de différencia-

tion générale sont peu accentuées sous l'influence du calcaire, les *altérations intracellulaires sont, en revanche, beaucoup plus graves*. En effet, tandis que Lesage n'a noté que l'absence d'amidon, une réduction des chloroleucites produisant une diminution de la teinte verte (c'est-à-dire une chlorose légère, souvent même à peine sensible), le calcaire engendre au contraire des chloroses intenses. Ces chloroses, que nous étudierons plus tard, sont le résultat d'altérations cellulaires extrêmement profondes et souvent mortelles, dont voici les principales.

Les *membranes* sont parfois légèrement épaissies ; leur substance est souvent granuleuse parce qu'une partie des matières calciques insolubles vient s'y incorporer en se combinant à la cellulose ou en formant des pectates de chaux, etc.

Les *chloroleucites* s'altèrent progressivement : diminution d'intensité de leur coloration, puis de leurs granules amylifères, puis réduction de leur taille, et enfin décomposition et désagrégation sous forme de grumeaux et de plaques guttiformes, qui disparaissent ensuite complètement.

Nous traiterons d'ailleurs en détail cette question de la chlorophylle à propos de la chlorose.

Conséquemment à la chlorophylle, les *amyloleucites* manquent dans les cellules mésophylliennes en sols calcaires.

Le *suc cellulaire* augmente, et sa réaction acide diminue et même devient neutre ou légèrement alcaline, comme il est possible de s'en assurer non avec le tournesol, trop peu sensible, mais avec le sirop de violettes et la phénolphtaléine. Quand l'altération cellulaire atteint son summun, le *protoplasme* paraît se liquéfier, se fondre, se mélanger progressivement au suc cellulaire, qui diminue à son tour, pour donner en fin de compte des cellules mortes et en voie de dessiccation.

Les *sécrétions* sont très troublées par le calcaire qui neutralise, à mesure de leur production, les acides organiques (oxalique, citrique, malique, etc.) sous forme de sels insolubles (oxalate, malate, etc.) et épuise ainsi les cellules sécrétrices.

Il est évident que la nutrition des plantes silicicoles est suspendue en sols calcaires, puisque leurs acides sont employés

presque uniquement et inutilement à neutraliser le calcaire au fur et à mesure de son absorption.

Il semble donc qu'en sols calcaires, l'on devrait toujours observer de très nombreux cristaux dans les feuilles.

Cela est vrai dans quelques cas (Vigne, *Sempervivum*, *Galeopsis*, etc.). Cependant, dans beaucoup de plantes, comme dans les *Lupinus*, *Orobus*, *Jasione*, *Digitalis*, etc., il n'y a pas augmentation bien sensible du nombre des cristaux. Cela se comprend aisément, selon nous, puisque les cellules sécrétrices, travaillant trop, sont bientôt épuisées, et que tout organe qui fonctionne trop, de même que tout organe qui ne fonctionne pas, s'atrophie et meurt.

Les recherches de divers auteurs nous apprennent que les sécrétions des divers liquides et substances actives, tels que: huiles essentielles, térébenthines, alcaloïdes, etc., qui sont les produits d'une bonne nutrition, sont entravées par l'excès de calcaire, puisqu'il trouble ou arrête la nutrition. Ainsi Fliche et Grandeau (1873), dans leurs intéressants travaux sur le Pin maritime, ont constaté que lorsque cette essence végète sur des sols calcaires, ses feuilles sont pauvres en térébenthine.

4° CONCLUSIONS

1. En résumé, les troubles trophiques engendrés dans les plantes silicicoles par le calcaire ont une influence peu marquée sur la structure anatomique et la différenciation histologique, mais très profonde et très grave sur les éléments intracellulaires, dans le mésophylle en particulier.

2. L'action peu profonde du calcaire sur la différenciation des tissus ne doit point nous porter à rejeter l'importance et la nécessité des études histologiques en classification, importance et nécessité si magistralement démontrées par les belles recherches de J. Vesque, Paul Parmentier, etc. Mais nous croyons, avec Dassonville, qu'il est quelquefois «dangereux de classer les végétaux d'après les caractères anatomiques observés chez des plantes en voie de croissance et soumises à des alimentations différentes ».

3. Selon nous, la composition chimique des *sols naturels*, en ne considérant que les éléments minéraux normaux, agit beaucoup et surtout sur les caractères extérieurs de taille, couleur, forme, etc., mais faiblement, en général, sur l'anatomie interne, en ce qui concerne la chaux et probablement la silice. Quant aux autres sels, magnésie, potasse, etc., leur influence spécifique n'a pas encore été suffisamment étudiée, et il se pourrait que leur action sur la structure des tissus soit plus marquée que celle de la chaux et de la silice.

CHAPITRE SIXIÈME

ÉTUDE DU RÔLE PHYSIOLOGIQUE DU CALCAIRE ET DES PRINCIPAUX SELS MINÉRAUX

Les études auxquelles nous nous sommes consacré jusqu'ici se réduisent, somme toute, à la constatation des faits. Nous devons maintenant chercher à interpréter ces mêmes faits, c'est-à-dire étudier le mode d'action, le rôle physiologique du calcaire et des principaux sels minéraux dans l'organisme végétal. A ce propos, force nous est encore, au début de ce chapitre, d'avouer, avec Boussingault, Berthelot, Raulin, Pasteur et nombre d'autres savants, l'insuffisance de nos moyens d'investigation dans l'étude des phénomènes vitaux, dont la compréhension nous échappe. Jusqu'à ce jour, c'est en vain que la chimie des matières vivantes, ou *chimie biologique* (qu'il ne faut pas confondre avec la chimie organique), s'est efforcée de pénétrer les secrets de la vie avec lesquels elle est pourtant obligée de compter, bon gré mal gré, selon l'expression d'Etard. Chaque être vivant n'est, en somme, qu'une colonie de cellules isomorphes ou hétéromorphes ; considérée séparément, chacune de ces cellules, animale ou végétale, constitue un laboratoire vivant et mystérieux, siège et théâtre de réactions complexes ininterrompues, que la chimie n'a pu encore dissocier complètement et encore moins synthétiser.

Toutefois, si la vie reste pour nous inexpliquée dans son essence, du moins la physiologie nous en fait connaître les principales manifestations ; c'est dans ce sens que nous allons exposer le mode d'action physiologique du calcaire et des principaux sels minéraux.

I. — ROLE PHYSIOLOGIQUE DU CARBONATE DE CHAUX (CALCAIRE)

La chaux que l'analyse révèle dans les plantes y pénètre toujours en combinaison avec les acides carbonique (carbonates), sulfurique (sulfates), nitrique (nitrates), phosphorique (phosphates) et silicique (silicates).

Une fois dans la plante, ces sels minéraux se décomposent en tout ou en partie, et se transforment, sous l'action des acides organiques (acides oxalique, malique, citrique, pectique, tartrique, etc.), pour donner naissance à de nouveaux sels (oxalates, malates, citrates, pectates, tartrates, etc.).

Pour beaucoup de ces transformations, pour toutes peut-être, destinées à favoriser l'union de la chaux et de la matière organique en vue de la croissance du végétal, l'action d'un ferment (pectase, etc.) est nécessaire. Nous en reparlerons d'ailleurs.

Nous devons donc étudier séparément l'action physiologique exercée dans la plante par les différents sels de chaux considérés en eux-mêmes (1), puis l'action physiologique de la chaux proprement dite (CaO) qui est fournie par ces sels calciques.

L'action physiologique du calcaire est complexe ; son étude est difficile, car nous ignorons encore *pourquoi* le calcaire exerce une double influence, *attractive* sur certaines plantes et *répulsive* sur d'autres.

« Comment agit le calcaire sur les calcaricoles et les calcarifuges, se demandent A. Gasser et R. Maire? D'après les recherches de Fliche et Grandeau, il y a tout lieu d'admettre que ces dernières plantes sont adaptées à extraire leur calcium d'une eau d'imprégnation contenant très peu de calcaire. Ne trouvant que peu ou pas de carbonate calcique, elles

(1) L'étude de l'action des sels de chaux dans le sol sera résumée au chapitre suivant.

tirent même probablement une partie de leur calcium d'autres sels de ce métal (des silicates, notamment ; C. Roux). Si on les introduit brusquement dans un milieu riche en calcaire, elles en ont pour ainsi dire une indigestion. L'empoisonnement des calcarifuges par le calcaire produit la diminution de K et de Fe dans leur milieu intérieur. Lorsqu'on admettait l'existence du fer dans la chlorophylle, on n'avait pas manqué d'établir une relation étroite entre la proportion de fer dans la plante et sa richesse en chlorophylle. La chlorose végétale était ainsi comparable à la chlorose animale. Aujourd'hui que l'absence du fer dans la chlorophylle a été reconnue, cette relation a perdu beaucoup de sa probabilité.

La plante calcaricole, adaptée à vivre en présence d'une grande quantité de sel calcaire, dépérit quand on la place dans un sol n'en renfermant que peu, n'étant pas capable d'extraire son calcium d'un milieu aussi pauvre.

L'influence de l'ionisation sur la toxicité des sels a été mise en lumière depuis trois ans environ par Kahlenberg et True, Heald, Paul et Kronig, Loeb, Stevens, Clarke, et surtout par notre excellent ami Maillard, qui l'a démontrée le premier d'une façon irréfutable... L'étude pondérale a prouvé avec une précision presque mathématique (1) que la toxicité du sulfate de cuivre (pour le *Penicillium glaucum*) appartient uniquement aux ions libres $\overset{+}{Cu}$. L'action du calcium pourrait de même

---

(1) Seulement, cette *précision mathématique* est loin d'être réalisée pour la théorie de l'ionisation, résumée ainsi par Gasser et Maire : « L'ionisation est l'état particulier que prend un corps en dissolution. Soit une solution de chlorure de sodium NaCl : le chlorure sera partiellement à l'état de NaCl et partiellement à l'état de $\overset{+}{Na}\overset{-}{Cl}$ errant séparément en *ions* (*iôn*). Si l'on fait passer un courant électrique dans la solution, $\overset{+}{Na}$ se rend à la cathode : c'est le *cation*, et $\overset{-}{Cl}$ va à l'anode : c'est l'*anion*. Les corps non ionisés sont dits masqués, par exemple le chlore dans le chloroforme n'est pas directement décelable, parce qu'il n'est pas ionisé. L'ionisation d'une solution augmente avec sa dilution. La théorie de l'ionisation est due à M. Svantes Arrhenius ; très récente, elle n'est pas encore élucidée complètement en tous ses points, mais elle concorde cependant à merveille avec un grand nombre de faits qui jusqu'alors paraissaient inexplicables ».

appartenir uniquement aux ions $\overset{++}{Ca}$ et dépendre du degré de dissociation, plus ou moins élevé, que les autres corps du plasma cellulaire permettent aux sels calciques.

Une étude chimique approfondie de ce suc cellulaire et des réactions qui s'y produisent serait nécessaire pour élucider la question, mais elle est loin d'être faite. Elle permettrait en particulier de comprendre pourquoi le bicarbonate de calcium a plus d'action que les autres sels calciques, bien que son calcium soit probablement masqué : la facilité de décomposition de ce sel, permettant le passage de l'élément calcium dans d'autres combinaisons, doit être pour beaucoup dans son activité. La question des plantes salicoles et salifuges (1) serait différente et dépendrait beaucoup moins de l'ionisation que des pressions osmotiques. Il suffit donc que l'espèce calcarifuge trouve dans son milieu une proportion de calcaire inférieure à une certaine quantité variable avec chaque espèce, et que l'espèce calcaricole y trouve une dose inférieure à une autre quantité, pour qu'elles puissent vivre, toutes conditions égales d'ailleurs.

Nous appellerons cette quantité, maxima pour les premières et minima pour les secondes, la *quantité limite*. Cette quantité limite, variable suivant les espèces, sera théorique dans un milieu artificiel et constante pour chaque espèce ; mais dans un milieu naturel, on n'aura affaire qu'à la *quantité limite pratique*, dont la valeur sera influencée par les autres conditions biologiques du milieu ».

Cette explication chimique, basée sur l'ionisation, est assurément très séduisante, quoique encore toute théorique ; malheureusement, elle est en contradiction avec beaucoup de faits. D'abord, si on l'admet, on admet aussi comme conséquence que les sols secs ne sont jamais chlorosants et que les sols humides sont toujours chlorosants, ce qui est inexact ; ensuite, il est certain que la quantité de calcaire dissoute dans l'eau en contact avec les racines est toujours insignifiante, et il n'est point exact de comparer une dissolu-

(1) Nos plantes *sodicoles* et *sodifuges* : les plantes *halophiles*, ou *halophytes*, de beaucoup d'auteurs.

tion de calcaire à une dissolution de sel marin. Pour nous, *le calcaire agit directement* sur la plante, non pas seulement, comme dit P. Viala dans ses *Maladies de la vigne,* après avoir été absorbé, mais *avant, pendant* et *après* son absorption.

A. — AVANT SON ABSORPTION

Le calcaire agit sur la plante, avant son absorption, en neutralisant les acides carbonique, chlorhydrique, citrique, etc., émis par les racines ; et conséquemment il annihile l'action utile de ces sucs radiculaires dans la préparation et la préhension des divers aliments minéraux contenus dans le sol.

B. — PENDANT SON ABSORPTION

Le calcaire agit pendant l'absorption, car, sous l'action de l'acide carbonique excrété par les racines (Barthélemy. *Absorption des bicarbonates.* Rev. des Sc. nat., Montpellier, 1876), il se transforme en *bicarbonate soluble,* il est absorbé et *son absorption est continue.* On sait, en effet, depuis les expériences classiques de Sachs, maintes fois répétées, que le CO^3Ca est absorbé par contact immédiat des racines avec les particules calcaires et que, par conséquent, l'intensité de l'absorption varie en raison directe, non pas seulement du taux centésimal du calcaire dans le sol, mais bien de son état de *ténuité qui développe les surfaces de contact.* En outre, les radicelles absorbent, bien entendu, le calcaire dissous (à la faveur du CO^2 de l'air, de l'eau et du sol) dans les eaux de pluie, d'infiltration et d'arrosage. Aussitôt introduit dans l'intérieur des cellules pilifères, il agit défavorablement sur ces cellules, comme nous allons le voir, en diminuant l'acidité du suc cellulaire, en exagérant l'alcalinité du protoplasma, en abaissant, en un mot, la vitalité et l'activité fonctionnelle de ces cellules pilifères qui sont le siège même de l'absorption.

C. — APRÈS SON ABSORPTION

C'est surtout après son absorption que le calcaire accomplit dans l'intérieur même du végétal son rôle physiologique.

Ce rôle est complexe, à la fois utile et nuisible.

α. Action nuisible du calcaire dans la plante

1° *Le calcaire modifie la constitution de la sève.* — En dissolution et peut-être en suspension dans le liquide constituant la sève brute, le calcaire modifie, si légèrement soit-il, la constitution, les propriétés physiques et la densité de cette sève brute, dont il trouble ainsi l'ascension normale.

2° *Le calcaire tend à se déposer dans les tissus.*— En cheminant vers les parties aériennes du végétal, le calcaire, absorbé à l'état de bicarbonate soluble, se décompose peu à peu en perdant une molécule de CO^2, et tend à se déposer à l'état de carbonate insoluble dans toutes les parties traversées par la dissolution, et notamment dans les vaisseaux du cœur du bois et dans certains parenchymes. Ainsi que l'a établi Dehérain, la décomposition du bicarbonate de chaux et le dépôt du carbonate insoluble qui en résulte doivent atteindre un maximum d'intensité dans la région corticale de la tige, et surtout dans les organes appendiculaires, où l'évaporation est le plus active. On constate, en effet, que ces parties sont toujours les plus riches en CO^3Ca et en silice, et que la quantité de ces substances contenues dans un organe augmente toujours avec l'âge, tandis que diminuent les matières phosphorées, de sorte que le CO^3Ca constiue à lui seul la majeure partie des matériaux des cendres de la généralité des plantes ou de leurs organes qui ont parcouru le cercle de la végétation (V. Chareyre. *Rech. sur les Cystolithes*).

C'est surtout dans les feuilles que le calcaire doit se déposer, car l'excès de CO^2 nécessaire à la dissolution est réduit sous l'influence de la lumière solaire. Ces dépôts de calcaire dans les parties aériennes des plantes ne sont point hypothétiques ; s'ils sont ordinairement incolores, amorphes, diffus, et par conséquent invisibles à l'examen direct, on peut toujours les déceler. Pour cela, il suffit d'opérer des sections minces de feuilles, par exemple, et de les mettre en contact d'une solution d'acide chlorhydrique étendu de six à huit fois son volume d'eau, pour voir, à l'œil nu ou armé du microscope le CO^3Ca se dissoudre et le gaz CO^2 enfermé dans les cellules et les méats se dégager

avec force et effervescence, ainsi que Payen l'a démontré depuis longtemps sur des feuilles de *Mesembrianthemum*, *Maclura*, *Juglans nigra*, *Solanum tuberosum*, *Polygonum fagopyrum*, etc. Nous avons répété nous-même cette réaction sur diverses plantes, notamment sur des feuilles de *Vitis*, *Sempervivum*, *Lupinus*, *Galeopsis*, et nous avons constaté par cette méthode indirecte que le calcaire est plus abondant dans les plantes sur un sol calcaire que sur un sol siliceux, puisque le microscope révèle une effervescence plus intense et plus prolongée. Les dépôts de calcaire, amorphes ou figurés, invisibles ou palpables, ont évidemment pour effet de gêner les échanges, les phénomènes de diffusion et les réactions intercellulaires ; ils embarrassent les tissus et ils forment un agent toujours prêt à réagir chimiquement sur des substances utiles à la plante, ainsi que nous allons le voir.

3° *Le calcaire précipite les acides organiques.* — Le calcaire agit encore directement et chimiquement en précipitant les acides organiques des plantes à l'état de sels insolubles. C'est bien là une des causes pour lesquelles son absorption est continue, car en disparaissant à mesure ar décomposition ou par combinaison avec les acides organiques, sa solution dans la sève est continuellement alimentée et équilibrée par une nouvelle absorption radiculaire.

Parisot pense, à ce sujet, que les plantes silicicoles ne peuvent s'installer sur le calcaire parce que le CO^3Ca, en formant des sels insolubles avec les acides organiques renfermés dans ces végétaux, déplace plus ou moins les alcalis dont ces plantes ont besoin, et peut ainsi, indirectement, entraver leurs fonctions d'assimilation. Nous sommes absolument de cet avis ; ce rôle physiologique du calcaire peut être affirmé *a priori*, bien qu'il n'ait pas reçu de démonstration expérimentale précise, démonstration d'ailleurs presque impossible à réaliser.

4° *Le calcaire neutralise les sucs cellulaires.* — Le calcaire diminue l'acidité normale du suc cellulaire et augmente, inversement, la faible alcalinité, normale aussi, du protoplasme. Plusieurs chimistes ont démontré ce fait expérimentalement,

Nous citerons notamment les recherches de B. Pons, chimiste-agronome, inspecteur des pharmacies de l'arrondissement de Limoux (Aude). Cet auteur a expérimenté sur des feuilles de Vigne ayant végété en terrain fortement calcaire et conséquemment chlorosées. « Le suc exprimé des feuilles chlorotiques pilées a été, nous dit-il, décoloré par le noir animal pur, puis filtré. Ce liquide bleuit la teinture rouge ainsi que le papier de tournesol ; il verdit le sirop de violettes. Il est donc alcalin ». Le suc des feuilles saines, non chlorosées, a toujours une réaction extrêmement acide. Empressons-nous d'ajouter que, dans la plupart des cas, le calcaire ne change pas complètement la réaction acide du suc cellulaire, mais il diminue seulement, et cela plus ou moins selon les plantes et les sols, le degré d'acidité du suc.

5° *Le calcaire altère le protoplasme.* — Quant à l'action du calcaire sur le protoplasme lui-même, on conçoit qu'il est impossible d'en fournir la preuve expérimentale directe, puisque l'on ne peut *préparer* ni séparer le protoplasme, tandis que l'on peut extraire les sucs liquides. Quoi qu'il en soit, le calcaire doit probablement exagérer l'alcalinité normale du protoplasme. Que résulte-t-il de cette action du CO^3Ca sur le suc cellulaire et le protoplasme ? Ces éléments cellulaires sont altérés chimiquement, leurs propriétés physiologiques, leur activité fonctionnelle et leurs facultés assimilatrices sont entravées ou altérées. Si le calcaire n'est absorbé qu'en faible quantité, les acides organiques élaborés par le végétal suffisent à le neutraliser et à détourner en partie ses effets nuisibles sur le suc et le protoplasme. Mais si le calcaire est absorbé en certaine proportion et d'une façon continue, l'action de ces acides sera impuissante, leur rôle utile sera complètement détruit et leur formation même sera entravée ou arrêtée. Et à cet égard, constatons, sans pouvoir l'expliquer, que certaines plantes dites silicicoles sont beaucoup plus sensibles au calcaire, qui devient alors pour elles un poison, que d'autres, dites calcicoles, pour lesquelles le calcaire est inoffensif ou peut être utile ?

Rappelons enfin que le calcaire peut être considéré dans

les plantes silicicoles comme une sorte d'intrus qui vient dans la plante aux lieu et place de la potasse. Malaguti et Durocher ont en effet observé que la potasse diminue dans les cendres en raison directe de l'augmentation de la chaux.

6° *Le calcaire nuit aux chloroleucites.* — Les chloroleucites et les amyloleucites étant le produit de l'activité physiologique du protoplasme, on conçoit aisément que, le calcaire agissant chimiquement, ainsi que nous l'avons vu, sur le protoplasme et le suc cellulaire dont les propriétés sont dès lors altérées, entrave ainsi indirectement la formation et la multiplication de ces leucites.

Puisque le calcaire tend à neutraliser ou alcaliniser les sucs cellulaires et exagère l'alcalinité du protoplasme, jouant ainsi pour ainsi dire un rôle pathogène dans la cellule, il est évident qu'il en résulte un malaise, une gêne dans le fonctionnement des cellules, qui s'appauvrissent en matières azotées (chlorophylle, etc.) et hydrocarbonées (amidon, etc.)

Il est bien entendu que cette action défavorable du calcaire ne s'exerce que lorsqu'il est en excès par suite de son absorption intense et continue, ce qui n'a lieu évidemment que sur les sols humides ou très calcaires. C'est ce qui nous explique en partie pourquoi et comment les plantes silicicoles se chlorosent en sols calcaires. Là encore, l'action du calcaire est fort variable selon les espèces considérées, et selon la teneur du sol en CO^3Ca, ou selon l'état de division de ce dernier. En outre, cet arrêt, ce trouble dans la formation de la chlorophylle, dont nous aurons à nous occuper longuement dans nos études sur la chlorose, est dû en partie au mauvais état du protoplasme qui n'est pas aussi bien nourri qu'il devrait l'être parce que les sucs acides des racines, au lieu d'être employés à l'absorption des divers aliments minéraux, se dépensent presque complètement à transformer et à absorber le calcaire qui les neutralise. Et en admettant même que ces aliments minéraux soient absorbés encore en suffisante quantité par les racines, ils ne sont plus élaborés par suite de l'absence de matière verte, ou bien le sont imparfaitement par une chlorophylle insuffisante et mal développée.

Remarquons enfin que, si le calcaire entrave la formation des chloroleucites, le calcium, par contre, leur est nécessaire.

Le manque de calcium dans le substratum occasionne, sauf chez les Algues (Bokorny. *Ann. agron.*, t. XXI), une diminution de l'appareil chlorophyllien. Le calcium toutefois n'est pas directement nécessaire à la fonction chlorophyllienne, mais il l'est indirectement, puisque sans lui les plastides chlorophylliens ne peuvent prendre leur développement normal. (V. plus loin, action de la chaux).

7° *Le calcaire affaiblit l'assimilation chlorophyllienne.* — La présence des carbonates alcalins dans les plantes, en agissant sur les membranes, sur le protoplasme, sur le suc cellulaire et sur les leucites, doit nécessairement modifier le rapport entre CO^2 emprunté à l'atmosphère et l'oxygène expiré par la fonction chlorophyllienne; et elle concourt, disent Berthelot et André, à expliquer les oscillations de ce rapport signalées par divers observateurs.

« La relation constatée, dit Chareyre, entre la présence du CO^3Ca dans les cystolithes et l'accomplissement de la fonction chlorophyllienne permet d'expliquer un certain nombre de faits, par exemple la présence exclusive des cystolithes et autres formations calcaires (poils, granulations, etc.) dans les parties de la plante colorées en vert ». Ed. Griffon a étudié tout récemment (1899) l'énergie assimilatrice chez des plantes devenues chlorotiques sous l'action du CO^3Ca, notamment chez le Poirier, la Vigne, le Robinier, l'Ailanthe. Il a constaté que l'assimilation existe toujours, quoique extrêmement affaiblie; l'énergie assimilatrice des feuilles altérées par le CO^3Ca est réduite seulement au 1/6 ou au 1/5, en moyenne, de celle des feuilles saines.

D'après Dehérain, le CO^3Ca prend le CO^2 de l'air, au détriment de la chlorophylle, qui ne peut plus dès lors exercer sa fonction.

Nous reviendrons sur ce sujet en traitant de la chlorose.

β. Rôle utile du calcaire dans la plante

1° *Rôle utile du calcaire dans certaines réactions chimiques.* —

D'après Berthelot et André, les carbonates alcalins, et par conséquent le carbonate de chaux, sont utiles aux plantes parce qu'ils accélèrent et facilitent les oxydations. L'on conçoit toutefois que cette action chimique peut n'être pas toujours utile, surtout lorsque le calcaire est en excès, puisque il y a des plantes pour lesquelles il est nocif.

Il est difficile, d'autre part, de suivre et de préciser les réactions intracellulaires sans altérer les cellules elles-mêmes et sans les faire périr ; la plupart du temps, on n'opère que sur des cellules malades ou mortes, d'où l'incertitude et la fausseté des résultats.

2° *Rôle du calcaire dans la formation des membranes.* — Le calcaire intervient dans l'édification des membranes, en transformant la pectine, sous l'action de la pectase, ferment non figuré qui détermine la coagulation des sucs végétaux riches en pectine.

Les recherches de Bertrand et Mallèvre (C. R. Ac. Sc., 1894, 1895) ont démontré d'une part la grande diffusion et le rôle considérable de la pectase (1) dans le règne végétal, d'autre part la nécessité de l'action simultanée de la chaux et de la pectase pour que la transformation de la pectine (fermentation pectique) puisse s'effectuer.

La pectase ne peut donc seule coaguler la pectine ; il faut la présence d'un sel soluble de calcium (bicarbonate de chaux, etc.), de baryum ou de strontium. Le précipité formé est bien un pectate alcalino-terreux (pectate de chaux, etc.) et non de l'acide pectique, comme on l'avait cru. Bertrand et Mallèvre ont également démontré que l'action retardatrice des acides dans la fermentation pectique est notablement amoindrie par

---

(1) La pectase, découverte par Frémy en 1840, existe en dissolution dans le suc cellulaire. Il n'y a pas de pectase insoluble.

C. Bertrand et A. Mallèvre. *Sur la diffusion de la pectase* (*Journal de Botanique*, 1896). La pectase existe dans toutes les plantes vertes, surtout dans les feuilles, d'où elle se répand dans les autres parties de la plante.

la présence d'une plus forte proportion de sels de calcium ou de ferments.

3° *Rôle du calcaire dans le transport des hydrates de carbone.* — Dans ses intéressantes recherches sur l'action de la chaux dans la germination, Bœhm observa que dans les plantes chez lesquelles la construction cellulaire s'arrête faute de chaux (fournie ordinairement par le calcaire), les matériaux organiques, amidon, etc., déposés dans les magasins naturels, ne peuvent pas s'écouler vers les endroits où ils devraient se consommer. En effet, dans ses Haricots élevés sans chaux dans l'eau distillée, l'amidon s'accumulait dans les parties médullaire et corticale du nœud inférieur ; il y avait donc arrêt dans la marche de l'amidon des cotylédons vers les sommités.

Au contraire, dans les plantes étiolées qui avaient reçu de la chaux (cultures en eau de fontaine, solutions minérales, etc.), les parties supérieures des tiges étaient remplies d'amidon, tandis que les parties inférieures n'en contenaient que juste dans l'anneau amylifère, quoique les cotylédons fussent encore tout à fait turgescents. Toutefois, Bœhm avoue que le rôle du calcaire et de la chaux dans le transport de l'amidon vers les lieux de consommation est complètement inconnu (1).

Plus récemment, Chareyre a écrit : «Il est permis d'affirmer que le CO^3Ca des cystolithes et l'oxalate de chaux déposé en mâcles dans les tissus paraissent être quelque chose de plus que des produits d'excrétion, et que les variations qui peuvent s'observer dans leurs quantités, suivant les circonstances, peuvent laisser croire que ces éléments jouent dans la vie de la plante un rôle encore à déterminer». Pourtant, ce rôle avait été déterminé en partie, avant Chareyre, par les recherches de Kohl (*Chaux et Silice : Ann. agron.*, t. XVI, p. 138). Kohl considère les cystolithes, non comme des organes d'excrétion, mais comme des organes de réserve pour le carbonate de chaux qui

(1) V. aussi : Bœhm. *De l'absorption de l'eau et des sels calcaires par les feuilles du Haricot d'Espagne* (*Landw. Vers.-Stat.*, 1877 ; *C. R. in : Ann. agronom.*, t. III).

peut, dans ce cas, faciliter le transport des hydrates de carbone.

Chez *Ficus*, les cystolithes des vieilles feuilles abandonnent peu à peu le calcaire à la tige où le calcium réapparaît sous la forme d'oxalate. La plante jouit d'ailleurs de la propriété d'utiliser toute membrane cellulaire comme magasin de calcaire (et de silice) et d'y puiser ensuite le carbonate au fur et à mesure de ses besoins. Le dépôt et le départ du CO^3Ca sont, d'après Kohl, intimement liés à la migration des matières hydrocarbonées et à la formation de la cellulose.

4° Rôle du calcaire dans la germination. — Enfin nous rappellerons le rôle utile du calcaire et des sels de chaux en général : ces sels de chaux sont nécessaires pour que la germination soit complète et que la plantule soit bien conformée (V. plus haut).

II. — ROLE PHYSIOLOGIQUE DE L'OXALATE DE CHAUX

L'oxalate de chaux n'existe pas dans le sol ; il se forme dans l'intérieur même de la plante, par combinaison de l'acide oxalique élaboré, avec les sels calciques absorbés. Le calcaire, en effet, se dépose en partie à l'état d'oxalate, par double décomposition :

Carbonate de chaux + acide oxalique = oxalate de chaux + acide carbonique.

D'après les expériences de Lœw, une solution d'acide oxalique ou mieux d'oxalate neutre de potasse à 2 o/o fait diffluer les grains de chlorophylle au bout de 30 ou 40 minutes, tandis que le tartrate et le sulfate de potasse ne produisent pas cet effet.

Ces faits s'expliquent d'une manière très plausible, si l'on admet que les sels de chaux jouent un rôle important dans la construction des organites cellulaires. La propriété la plus caractéristique de l'acide oxalique consiste à précipiter, à l'état insoluble, le calcium de toutes ses combinaisons. L'acide sulfurique et les tartrates ne précipitent le calcium que dans les solutions

relativement concentrées et beaucoup plus lentement (Th. Bokorny. *Infl. du calcium et du magnésium dans la cellule*, Botan. Centralbl., LXII, p. 1).

Monteverde (1) a démontré aussi qu'à la lumière le nombre des cristaux d'oxalate de chaux formés augmente avec l'abondance des sels calcaires dans le substratum, jusqu'à un certain maximum (qui correspond probablement à l'épuisement de la plante en acide oxalique). L'oxalate de chaux formé dans les plantes va se déposer dans certains organes, et notamment dans les tiges. J. Vesque admet que l'oxalate de chaux est soluble dans le protoplasma, ce qui n'est point encore démontré.

L'oxalate de chaux peut servir de réserve de calcium. Ainsi, lorsqu'on détache des feuilles de *Begonia* qui, on le sait, sont très riches en oxalate, qu'on les bouture dans du sable et qu'on les transporte ensuite dans une solution privée de chaux, on voit les cristaux du parenchyme des feuilles se corroder et disparaître.

Enfin, ajoutons en terminant, qu'il y a, sauf quelques exceptions (Vuillemin, thèse sur le Phylum des *Anthyllis*), un parallélisme constant entre l'absence de l'oxalate de chaux dans une plante et l'absence de calcaire dans le sol. En voici des exemples :

1° Plantes calcicoles

Erica multiflora. — Sphérolithes d'oxalate de chaux dans la moelle.

Buxus sempervirens. — Cristaux d'oxalate de chaux autour des massifs de sclérenchyme du parenchyme cortical.

Hippocrepis comosa. — Cristaux d'oxalate de chaux dans le liber et le parenchyme cortical.

Lithospermum purpureo-cæruleum
Globularia vulgaris
Digitalis parviflora } Pas de cristaux d'oxalate de chaux

Coronilla emerus. — Cristaux d'oxalate de chaux dans la moelle.

(1) Monteverde. *L'oxalate de chaux et l'oxalate de magnésie dans la plante* (en russe, Saint-Pétersbourg, 1889; C. R. *in*: *Ann. agron.*, t. XVII).

2° Plantes silicicoles

Erica vulgaris, *E. cinerea*, *E. carnea*, etc.
Sarothamnus vulgaris
Jasione montana
Ulex europæus
} Pas de cristaux d'oxalate de chaux

III. — RÔLE PHYSIOLOGIQUE DES AUTRES SELS DE CHAUX

L'action physiologique du *plâtre* est bien différente de celle du calcaire, à certains égards tout au moins. Nous croyons que, dans la plante, c'est surtout comme source de chaux et de soufre que le plâtre agit.

Il en est de même pour le *silicate de chaux*, qui est insoluble dans l'eau, mais que les radicelles des plantes pourraient néanmoins absorber sous cette forme, en petite quantité d'ailleurs.

Enfin les *phosphates* et *nitrates de chaux* agissent physiologiquement en fournissant à la plante la chaux et les acides nitrique et phosphorique qui sont indispensables pour la formation des organes végétatifs et des graines surtout (1).

Le nitrate et surtout *l'humate de chaux* exercent aussi, selon Dehérain et Bréal, une action très sensible et avantageuse sur le développement des plantules en germination, et notamment sur le développement de la racine.

IV. — RÔLE PHYSIOLOGIQUE DE LA CHAUX

Le rôle physiologique de la chaux (CaO) est complexe et bien distinct de celui des sels qui la fournissent aux plantes. Loin

(1) G. Capus. *Sur la répartition et la migration des nitrates dans les tissus de la plante.* (*Ann. agronom.*, t. XXIV).

A.-F.-W. Schimper. *Sur la formation de l'oxalate de chaux dans les feuilles* (avec renseignements sur les *nitrates*, *phosphates* et *sulfates*) : *Bot. Zeit.*, 1888 ; C. R. *in Ann. agronom.*, t. XIV). Etc.

d'être nuisible ou défavorable comme l'est souvent le calcaire, la chaux est toujours utile et souvent nécessaire, car elle agit à la fois *directement comme aliment* et *indirectement* par ses réactions et ses combinaisons. Nous étudierons avec le chaulage, au chapitre suivant, l'action exercée par la chaux dans le sol.

1° *Rôle de la chaux comme aliment.* — L'importance de la chaux dans le développement des plantes supérieures est connu depuis longtemps ; c'est un des trois principaux aliments que De Saussure avait déclarés indispensables.

«La chaux, dit Grandeau, est un aliment indispensable de toute plante. A l'exception de certaines Algues vertes qui, d'après Molisch et Bokorny (1), peuvent se passer de chaux, tous les végétaux en consomment». Joulie dit aussi : «La chaux est un aliment des plantes au même titre que la potasse et l'acide phosphorique ; une récolte de 10.000 kilos de foin peut en absorber 140 kilos par hectare. C'est là son rôle physiologique».

Heinrich, Bœhm (2), etc., ont constaté par leurs cultures dans l'eau, en supprimant successivement un seul *aliment* minéral, qu'en l'absence de chaux la végétation s'arrête beaucoup plus tôt qu'en l'absence d'azote, d'acide phosphorique et des autres aliments ; la chaux renfermée dans la graine est très vite consommée pendant la germination, plus vite que les autres principes nutritifs. Un certain minimum de chaux est donc indispensable, mais les plantes prennent plus que ce minimum lorsque le substratum est riche en sels calciqués.

L'importance de ce fait est considérable, au point de vue de la qualité des fourrages, pour l'alimentation des jeunes animaux. La chaux est fort importante dans les plantes calcicoles qui se distinguent généralement, selon Bœhm, par un système foliaire très développé.

(1) Th. Bokorny. *De l'influence du calcium et du magnésium sur le développement des organites de la cellule.* (*Botan. Centralbl.*, t. XLII ; C. R. *in Ann. agronom.*, t. 21, 1895).

(2) J. Bœhm. *De l'influence des sels de chaux sur le développement des végétaux* (*Sitzbr. d. K. Akad. d. Wissensch* .t. LXXI. 1875 ; *Ann. agronom.*, t. 1).

2° *Rôle de la chaux dans la formation des cellules.*— Bien que le rôle de la chaux dans l'organisme végétal soit encore très imparfaitement connu, Bœhm pense que la chaux est nécessaire à la formation de la cellule. Elle jouerait donc un rôle indirect dans l'activité du noyau au moment de la caryocinèse.

3° *Rôle de la chaux dans la formation de la cellulose.* — La chaux sert de base à l'incrustation des cellules, qui a lieu sous forme de dépôts de sels calciques divers. Heinrich a constaté, dans le Blé notamment, un accroissement dans la production de la cellulose sous l'influence de l'accroissement du sol en chaux.

4° *Rôle de la chaux dans la formation et le transport des matériaux cellulaires.* — La chaux concourt aussi à la formation des productions protoplasmiques, des grains chlorophylliens, etc. Rappelons que la chaux intervient dans le transport de l'amidon, selon Bœhm ; mais, d'après le même auteur, elle ne paraît participer ni directement ni indirectement à la formation de l'amidon aux dépens du CO^2 de l'air.

Ses expériences prouvent que si la chaux est indispensable, c'est pour transformer, par exemple, l'amidon, le sucre, etc., en cellulose ; et, ajoute Bœhm, « dans cette transformation des matériaux organiques en matières constitutives du corps de la plante, la chaux joue un rôle tout aussi important que dans la transformation du cartilage en os ». Par contre, Arthur Meyer, ayant constaté l'absence du calcium dans le suc cellulaire de *Valonia utricularis*, estime que cette absence vient corroborer l'idée que le calcium n'est pas un élément indispensable à la manifestation même de la vie. Nos données sur le rôle de la chaux manquent donc encore de précision.

5° *Rôle de la chaux dans la formation des acides organiques.* — La chaux est utile, d'après Malaguti et Durocher, en se substituant plus ou moins aux alcalis et en provoquant la formation des acides organiques ; car, dans les plantes où abonde la chaux, il y a une plus faible proportion d'acides minéraux, et, par suite, une plus grande quantité d'acides organiques. Cette assertion est sujette à caution, et, en tout cas, elle est loin d'être exacte pour toutes les plantes.

6° *Rôle de la chaux dans la transformation des oxalates.* — Selon Schimper (*Assimilation des sels minéraux*, *Flora*, 1890, et *Ann. agron.*, t XVII, p. 377), la chaux, provenant des sels inorganiques absorbés par la plante, sert à transformer en oxalate de chaux l'oxalate acide de potassium qui, à partir d'une certaine dose, constitue un poison pour le protoplasme. C'est dans ce but, d'après Schimper, que la chaux est secondairement nécessaire à la majorité des plantes (indifférentes et calcicoles surtout). En effet, l'oxalate de potasse se rencontre en abondance dans les cellules des plantes qui manquent de chaux ; chez ces plantes, incomplètement nourries, on voit périr d'abord les points végétatifs et les feuilles vertes, c'est-à-dire les lieux de production de l'oxalate de chaux ; mais on rétablit aussitôt l'état normal lorsqu'on les place dans des solutions nourricières qui contiennent de la chaux. Cela explique aussi pourquoi les plantes riches en chaux sont pauvres en potasse, et réciproquement.

7° *Rôle physiologique de la chaux dans la germination.* — Enfin, rappelons encore une fois le rôle utile, mais non absolument et toujours nécessaire, de la chaux dans la germination (1). Toutefois, ce rôle dans la germination appartient plutôt et surtout aux sels calciques eux-mêmes (V. *ante*, rôle du carbonate de chaux).

8° *Rôle antiseptique de la chaux.* — Le pouvoir antiseptique de la chaux et de certains sels calciques (le chlorure notamment) est bien connu, quoique assez faible. Toutefois, la trop grande abondance de chaux dans les tissus végétaux (et dans le sol) prédispose, d'après les recherches récentes de E. Laurent, dont nous reparlerons, certaines plantes (Pommes de terre, Carotte, Chicorée) à la pourriture bactérienne.

---

(1) Von Liebenberg. *Rech. sur le rôle de la chaux pendant la germination* (*Ann. agron.*, t. IX, 1883).

V. — ROLE PHYSIOLOGIQUE DE LA SILICE

Le rôle physiologique de la silice est relativement peu important.

Beaucoup d'auteurs, d'ailleurs, refusent toute action chimique à la silice, qu'ils considèrent comme un corps inerte dans la plante. «S'il est jamais démontré, dit Contejean, que l'influence attractive de la silice vient en aide à l'influence répulsive de la chaux pour fixer avec plus d'énergie les calcifuges et les calcicoles dans leurs cantonnements respectifs, la théorie de l'influence chimique du terrain ne s'en trouvera que plus solidement établie». Il est certain, en tout cas, que la silice est absorbée par les plantes à l'état de silicates, notamment de silicate de chaux qui est toujours un peu soluble au moment de sa formation. La silice aurait surtout un rôle de soutien: ainsi la consistance des Bruyères, des Graminées, des Cypéracées, des Fougères et des Équisétacées, paraît bien liée en partie à l'abondance de la silice qui contraste avec la pauvreté en chaux de leurs tissus. En outre, l'abondance de silice dans la plante paraît augmenter le développement des graines en poids et en nombre, la qualité restant la même. Toutes conditions égales d'ailleurs, on peut dire que les Céréales, l'Avoine surtout (1), profitent mieux, par suite de l'absorption de silice, des substances nutritives proprement dites et développent leurs graines beaucoup mieux que si la plante ne dispose pas d'une quantité de silice suffisante.

---

(1) Kreuzhaye et Wolff. *Importance de la silice dans le développement de l'Avoine* (*Bot. centralbl.*, XXII; *Landwirthschaftl. Versuchsst*, XXX).

V. Jodin. *Du rôle de la silice dans la végétation du Maïs* (*Ann. agron.*, t. IX).

Fr. von Hœhnel. *Du rôle de la silice dans les plantes* (*Biedermann's Centralblatt*, 1877; C. R. *in*: *Ann. agronom.*, t. III). Etc.

VI.— ROLE PHYSIOLOGIQUE DE LA POTASSE

La potasse est ordinairement absorbée à l'état de carbonate, provenant de la transformation lente des silicates de potasse insolubles des feldspaths. Dans toute espèce de sol, la potasse assimilable se rencontre à peu près en égale proportion, et les plantes en trouvent partout suffisamment. Contejean, d'après cela, refuse toute influence spéciale à la potasse sur la dispersion spontanée des végétaux. Cependant, nous sommes porté à croire qu'il y a des plantes réellement kaliphiles, celles qui, par exemple, parmi les silicicoles (Digitale, etc.), contiennent beaucoup plus de potasse que les calcicoles. Nérée Boubée, en 1847, à la Société géologique de France, où Thurmann exposait pour la première fois en public sa théorie célèbre, a émis l'idée qu'en effet, la potasse contribue à fixer les calcifuges sur les roches feldspathiques, comme la chaux fixe les calcicoles sur les roches calcaires, mais sans le démontrer.

Eug. Péligot, qui a publié plusieurs mémoires sur le rôle et la répartition de la potasse et de la soude dans les végétaux (1), a montré, contrairement à l'opinion de beaucoup de savants et agronomes, que la plupart des végétaux cultivés (notamment la Pomme de terre, qui ne présente pas trace de produits sodiques même dans les terrains salés des bords de la mer), délaissent les sels de soude, tandis qu'ils semblent préférer l'*alcali végétal*, la potasse. Ces expériences ont été confirmées par celles de Demoussy (1898) qui a trouvé que la présence du potassium peut annuler l'absorption du sodium. D'autre part, il a observé que le bromure de potassium peut être absorbé abondamment et impunément par une plante terrestre (le Colza). Par contre, l'iodure de potassium, si abondant dans les plantes marines (*Fucus*, etc.), tue les plantes terrestres.

Tous ces faits semblent bien indiquer que la potasse a un rôle physiologique important. Ce rôle s'applique surtout à la croissance générale et à la formation de l'amidon.

---

(1) Eug Péligot. *Répartition de la soude et de la potasse*, 1871 et 1872.

1° *Rôle de la potasse dans la croissance générale.* — Les recherches de plusieurs physiologistes, et récemment de Dassonville (1898), ont démontré que la potasse facilite les cloisonnements cellulaires, et conséquemment favorise la croissance et augmente la quantité d'eau dans la plante ; mais elle retarde la lignification et la différenciation des éléments de soutien. Ce retard peut être considérable, au point de provoquer la *verse* chez les Graminées. Quant au phosphate de potasse, indispensable à la végétation, il favorise le développement des racines, lignifie le cylindre central du Blé et de l'Avoine et prévient par conséquent la verse. Le silicate de potasse donne aux feuilles une couleur vert foncé et un brillant particulier ; il ne prévient pas la verse (Dassonville).

2° *Rôle de la potasse dans la formation de l'amidon.* — Les expériences de Nobbe (1871) tendent à prouver que la potasse est indispensable à la constitution de la chlorophylle et de l'amidon. D'après Nobbe, Schrœder et Erdmann (1), il ne se produit pas d'amidon dans les grains de chlorophylle chez les plantes élevées en solutions exemptes de potasse. Toutefois, on déduit des recherches de Corenwinder, Dehérain, Joulie, qu'il n'y a pas de rapport fixe entre la dose de potasse qui entre dans la plante et les produits hydrocarbonés que celle-ci élabore (V. Dassonville, thèse, p. 40).

VII. — ROLE PHYSIOLOGIQUE DE LA SOUDE

La plupart des plantes continentales ont pour le chlorure de sodium, ou sel marin, une véritable antipathie (2). Ce fait,

---

(1) Nobbe, etc. *Rôle de la potasse dans la nutrition végétale* (Chemnitz, 1871 ; C. R. *Journ. d'Agr.*, 1872).

Nobbe, etc. *Rôle physiologique du potassium dans les végétaux* (1875 : *Ann. agron.*, t. I).

Lupke. *Rôle du potassium dans les plantes* (*Ann. agron.*, t. XVI).

Dehérain. *Absorption de la potasse* (*Ann. Sc. nat.*, 4e. s., t. 20, 1863).

(2) Bührer. *Rech. sur l'action nuisible du sel commun sur les plantes supérieures et inférieures* (Thèse, Zurich, 1884).

Tenobe. *De l'action de l'eau salée sur les plantes* (Résumé *in Arch. des Sc. phys. et nat. de Genève*, 31e volume). Etc., Etc.

remarque le Dr Saint-Lager, est en opposition avec ce qu'on voit chez les animaux, pour qui les sels potassiques sont, au contraire, des poisons.

Le sel marin est pourtant de tous les sels de soude celui qui pénètre le mieux dans la plante, surtout quand il est présenté seul aux racines ; mais, s'il n'est pas présenté seul, il n'est absorbé, comme l'a montré Dehérain, que s'il est en dose très notable, ce qui n'a jamais lieu dans les terres ordinaires ; d'où explication de l'absence habituelle de la soude (1) chez les végétaux terrestres.

1° *Rôle de la soude dans la croissance générale.* — Les recherches de Dassonville ont établi que la soude joue dans le cloisonnement cellulaire un rôle beaucoup moins actif et favorise moins la croissance que la potasse ; mais elle hâte la lignification de la base de la tige et, par suite, prévient la verse.

2° *Rôle dans les variations de structure.* — Les travaux de P. Lesage ont montré que le chlorure de sodium produit les modifications suivantes : d'une part, augmentation de l'épaisseur du mésophylle, développement plus parfait du tissu palissadique et réduction des lacunes ; d'autre part, formation moins abondante de chlorophylle, ce qui détermine une coloration vert pâle ou vert jaunâtre des feuilles.

3° *Rôle dans la fonction chlorophyllienne.* — « Si une feuille, dit E. Griffon, a une épaisseur plus grande, un mésophylle plus riche en tissu palissadique et des lacunes moins développées, il semble qu'elle doive assimiler davantage, et c'est ce que pensait Henri Lecoq, qui, à propos des feuilles épaisses et charnues des plantes du littoral, disait que le sel donne à ces organes une plus grande vitalité et une plus grande puissance de décomposition pour l'acide carbonique ». Or, il n'en est rien ; cette modification de structure, favorable à la décomposition de l'acide carbonique, n'arrive pas à compenser l'action nuisible du sel. L'assimilation, rapportée à l'unité de surface, reste en

(1) Voy. Contejean. *La soude dans le sol et dans les végétaux* (*Rev. des Sc. nat.*, 2e série, t. 1).

effet, ainsi que l'a montré Griffon, toujours moindre pour les feuilles d'une plante maritime que pour les feuilles comparables de la même espèce croissant dans l'intérieur des terres.

4° *Rôle de la soude dans la formation de l'amidon.* — Brick, Lesage, Schimper, ont montré que le sel marin entrave toujours plus ou moins la formation de l'amidon chez les plantes halophiles.

5° *Rôle antiseptique de la soude.* — Les intéressants travaux de E. Laurent ont établi que le chlorure de sodium favorise un peu la résistance à la pourriture bactérienne chez quelques végétaux.

VIII. — ROLE PHYSIOLOGIQUE DE LA MAGNÉSIE

Contejean a conclu, malgré les recherches de ses devanciers (Dunal, Planchon, etc.), que l'action physiologique de la magnésie ne se distingue pas de celle de la chaux.

Cependant l'action physiologique du carbonate de magnésie n'est pas comparable à celle du carbonate de chaux, puisque les Vignes américaines, même les plus sensibles comme les Riparias, prospèrent très bien dans les terrains dolomitiques du Gard (bajocien, bathonien, infra-lias), qui renferment cependant jusqu'à 42 o/o de carbonate de magnésie (Chauzit, Jeanjean, Desjardins).

Dassonville a étudié l'action physiologique du sulfate de magnésie. Les expériences de Bokorny (1) et de Lœw tendent à attribuer à la magnésie une influence dans le développement des organites cellulaires et surtout des graines.

Mais le rôle physiologique de la magnésie est encore peu connu et demande à être précisé par des recherches nouvelles (2).

---

(1) Voy. aussi : E. von Raumer *Chaux et magnésie dans la plante* (*Biederm. Centralbl.*, 1854; *Ann. agron.*, t. X).

(2) V. à la *Chaux*.

IX. — ROLE PHYSIOLOGIQUE DES SELS DE FER

On sait depuis longtemps (expériences d'Eusèbe Gris, vers 1840, etc.) que le fer est indispensable à la formation de la chlorophylle. Il pénètre dans les plantes sous forme de sulfate, de chlorure et de carbonate de fer. Cependant, Contejean n'a jamais observé de caractère spécial dans la végétation des affleurements ferrugineux. D'autre part, Julius Sachs et le prince de Salm-Horstmar ont montré que les plantes ne peuvent vivre sans fer. Zimmermann (1893) a prouvé que le fer active la multiplication, la coloration et l'assimilation des chloroleucites. En définitive, l'influence physiologique des sels de fer, malgré les controverses passionnées auxquelles elle a donné lieu et malgré l'obscurité dans laquelle elle est encore plongée, est aujourd'hui hors de doute. Nous aurons à nous en occuper plus longuement dans nos études sur la chlorose.

X. — ROLE PHYSIOLOGIQUE DES AUTRES SELS MÉTALLIQUES

L'action physiologique des sels de *manganèse* est encore inconnue ; on sait seulement que ce métal existe dans presque tous les végétaux.

Les sels de *cuivre*, de *baryum*, de *plomb*, de *zinc* (1), etc., ont tous une action plus ou moins nuisible sur l'organisme végétal. D'après les travaux récents de Griffon « le cuivre, à doses très faibles, 1 p. 10000 par exemple, absorbé par les racines que néanmoins il attaque, augmente la quantité de chlorophylle dans les cellules des feuilles et fait croître par là-même et l'intensité de la coloration verte et l'énergie assimilatrice ».

---

(1) Baumann. *Action des sels de zinc sur les plantes et sur le sol* (Thèse de Berlin, 1884).

Les recherches de H. Coupin (1) ont démontré l'action toxique exercée par les bromures, chlorures et iodures alcalins dans la grande majorité des plantes.

CONCLUSION

Telles sont les principales notions acquises actuellement sur l'action physiologique des matières minérales dans les plantes. Il y a encore, on le voit, beaucoup à faire dans cet ordre d'idées.

---

(1) H. Coupin. *Toxicité des bromures, iodures et chlorures alcalins* (A. F. A. S., Nantes, 1898, etc.); *Toxicité des sels de cuivre*, etc. (C. R. Ac. Sc., 1898).

CHAPITRE SEPTIÈME

CONCLUSIONS GÉNÉRALES ET APPLICATIONS

I. — CONCLUSIONS GÉNÉRALES

En réunissant, aux données déjà admises par la plupart des phytostaticiens, les résultats de nos recherches personnelles qui démontrent péremptoirement et confirment l'existence réelle des *plantes calcifuges et silicicoles*, nous formulons et présentons, comme l'expression de notre conviction sincère et absolue, les conclusions suivantes qui diffèrent notoirement en plusieurs points, ainsi qu'il sera facile de s'en assurer par comparaison, de celles déjà présentées par Ch. Contejean dans ses beaux mémoires de 1874 et 1876 :

1° La distribution géographique de chaque espèce végétale dépend du *terrain* et du *climat*, qui exercent une influence capitale et générale sur toutes les familles de plantes. Très peu d'espèces sont véritablement cosmopolites.

2° Le *terrain*, quelle que soit l'époque géologique de sa formation, agit surtout par sa *composition chimique* et par son *état physique* ; mais l'influence chimique l'emporte toujours sur l'influence physique.

3° Les *flores terrestre* et *maritime* sont toujours bien délimitées.

La répulsion exercée par le chlorure de sodium sur les plantes terrestres est plus forte que l'attraction qu'il exerce sur les plantes maritimes.

L'influence du sel marin, d'autre part, est plus intense que celle du calcaire, puisqu'elle s'exerce, ainsi que l'a fait remarquer Contejean, entre autres, sur les 9/10 au moins des

végétaux d'une contrée, tandis que l'influence du calcaire se remarque à peine sur la moitié des espèces terrestres.

4° La *répulsion exercée par le calcaire sur les calcifuges* est presque aussi forte que celle exercée par le chlorure de sodium sur les plantes terrestres; et le calcaire repousse beaucoup plus énergiquement les calcifuges qu'il n'attire les calcicoles. En d'autres termes, la répugnance des vraies silicicoles à l'égard du calcaire est presque absolue.

5° Ainsi qu'il résulte de nos expériences personnelles, *les plantes calcifuges germent aussi bien* (germination complète et parachevée) *dans les sols calcaires* que dans les sols siliceux. Toutefois, les plantules périssent souvent, sous l'action du calcaire, avant que les cotylédons soient complètement vidés, et en définitive, aucune plante calcifuge exclusive ne peut se développer et se perpétuer par semis, puisque celles qui résistent à des doses modérées (jusqu'à 20 o/o environ) de calcaire sont chétives, naines, chlorotiques, et ne fleurissent et ne fructifient que très tardivement ou pas du tout.

6° Il semble toutefois que les calcifuges, transplantées avant floraison en sols calcaires, s'accommodent mieux au calcaire que par semis; mais en tout cas, le repiquage des calcifuges, même très vigoureuses et encore jeunes, en sols calcaires a pour effet de suspendre ou du moins de ralentir l'accroissement végétatif et de retarder la floraison.

7° S'il existe, d'une part, une analogie générale entre l'action de la chaux et l'action de la soude (puisque les deux bases fixent chacune certaines plantes et en repoussent d'autres, et puisque leur force d'attraction est moindre que leur force de répulsion), d'autre part, les modifications morphiques externes ou internes dues au calcaire et au sel marin ne sont point comparables. En effet :

a. D'un côté (chaux), il y a des indifférentes; de l'autre, (soude), il n'y a que des exclusives ;

b. Les propriétés chimiques du calcaire sont différentes de celles du sel marin;

c. Tandis que les modifications de forme et de dimension sont plus accusées, les variations de structure interne sont au

contraire moins prononcées sous l'action du calcaire que sous l'action du chlorure de sodium.

8° Les causes qui déterminent et font varier, selon les espèces, la répugnance ou l'appétit pour le calcaire, nous sont, pour la plupart, complètement inconnues, parce qu'elles sont intrinsèques, c'est-à-dire d'ordre vital et physiologique. L'anatomie est impuissante à nous les révéler et à nous les expliquer. Il n'y a d'ailleurs pas toujours parallélisme et concordance entre les variations histologiques et les phénomènes physiologiques. Nous constatons seulement, avec l'aide de la chimie et du microscope, quelques-uns des effets utiles ou nuisibles du calcaire dans l'organisme végétal.

9° La *silice* n'exerce qu'une action directe insignifiante ; elle est plus importante par ses effets indirects : consistance, soutien, etc. Ce n'est donc pas par pur appétit de silice que les plantes silicicoles se cantonnent en terrains siliceux, c'est par répugnance du calcaire, et probablement aussi, chez un grand nombre d'espèces qui restent à déterminer, par appétit de la potasse (plantes *kaliphiles :* N. Boubée, Viviand-Morel, Dr Saint-Lager... et nous-même). Bien que toujours plus abondante en sols siliceux, la potasse existe aussi en quantité suffisante (potasse assimilable) dans certains sols calcaires ; mais, dans ces derniers, son absorption et son rôle sont entravés ou annihilés par le carbonate de chaux.

L'influence possible, en géographie botanique, des autres éléments minéraux du sol (sels de magnésie, fer, manganèse, etc.) reste encore à préciser. Réserve est faite, bien entendu, de la nécessité absolue du carbone, du phosphore, de l'azote, etc., sous leurs différentes formes.

10° L'influence du climat ne peut être mise en parallèle avec l'influence chimique du sol. On peut seulement affirmer que ces deux facteurs, essentiellement différents, ont une importance capitale. Dans certains cas, l'influence du climat peut annihiler (? l'influence du sol, et réciproquement (actions de suppléance : Dr A. Magnin), mais sur quelques espèces seulement et dans des régions localisées.

11° Il est possible, par contre, de comparer l'influence physique et l'influence chimique du sol. Cette dernière, contact

chimique et intime, prédomine indubitablement sur la première, contact physique et superficiel.

Toutefois, l'influence physique du terrain n'est jamais à négliger. Elle « dépend essentiellement, dit CONTEJEAN, du mode de désagrégation des roches, d'où résultent les différences que présente le sol sous le rapport de la sécheresse ou de l'humidité, de la profondeur, de la mobilité, de la ténacité, de la perméabilité, etc. ». Eu égard à cette influence, on divise les plantes en *xérophiles* et *hygrophiles*, qui sont à leur tour *lithiques*, *péliques* ou *psammiques* (CONTEJEAN).

12° Les *stations* des plantes résultent de l'influence des qualités intrinsèques des plantes (tempéraments spécifiques et individuels, idiosyncrasies végétales, etc.), combinée avec l'action complexe, concentrée et variable de l'ensemble des conditions chimiques, physiques et cosmiques réalisées par les lieux d'habitation.

13° Les limites de l'aire de dispersion d'une espèce, ou de la décroissance progressive de sa densité autour de son centre de création, sont non seulement sous la dépendance de la composition chimique du sol et du climat, mais aussi de la concurrence vitale ou lutte pour la vie. Toutefois, si nous admettons ce facteur, c'est à titre secondaire, et en engageant les botanistes à ne pas lui accorder une importance et une élasticité exagérées commodes, il est vrai, pour la discussion des cas embarrassants, mais ne répondant pas à la réalité des faits.

14° L'adhérence des plantes à des sols de composition chimique déterminée est originelle et non acquise. On retrouve, en effet, pour une plante donnée, les mêmes préférences dans les époques géologiques qu'à l'époque actuelle. Ainsi, selon DE SAPORTA, la préférence du type Châtaignier pour les sols siliceux doit dater de loin, et explique l'absence ou la rareté de ses vestiges fossiles dans tous les gisements des régions purement calcaires.

15° On nomme *ubiquistes* les plantes qui peuvent pousser indifféremment en sols calcaires ou siliceux. Toutefois, l'expression «plante ubiquiste» n'est point entièrement synonyme de «plante indifférente», mais signifie seulement que les plan-

tes ubiquistes, tout en préférant peut-être tel ou tel sol, peuvent s'adapter ou s'accommoder à tous les sols. Les espèces véritablement indifférentes sont d'ailleurs beaucoup moins nombreuses qu'on le croit généralement, car, au point de vue de l'adaptation, il faut tenir compte des deux influences simultanées physique et chimique ; et quelques plantes ubiquistes au point de vue chimique ne sont pas totalement indifférentes à la constitution physique du sol, et réciproquement. C'est ainsi que beaucoup de silicicoles sont hygrophiles, et la plupart des calcicoles sont xérophiles. Il est probable qu'à l'origine toutes les espèces végétales étaient au moins préférentes pour un sol donné, et que les indifférentes ne sont devenues telles que par suite de la formation de sols mixtes (alluvions, éboulis, etc., etc.), sur lesquels elles se sont adaptées et répandues. D'ailleurs, plus les terrains incultes deviennent rares, plus la pratique des amendements se généralise, plus les plantes tendent à se mélanger et à «s'omnicoliser». A la suite de cette adaptation à de nouveaux substratum, les plantes se modifient et des formes nouvelles apparaissent, ainsi que nous l'avons vu.

16° Il est à remarquer qu'en sols exclusivement siliceux, il y a moins d'espèces de Phanérogames et davantage de Cryptogames qu'en sols calcaires, et réciproquement. En sols siliceux, la proportion des espèces indifférentes est toujours faible, tandis qu'en sols calcaires, les plantes calcicoles sont accompagnées d'un nombre beaucoup plus grand d'indifférentes.

Tous les botanistes connaissent, dit Masclef à ce sujet, la désespérante monotonie des forêts exclusivement siliceuses et la variété des plantes des bois à sous-sol calcaire. Cet état de choses tient à plusieurs causes, dont les deux principales sont : la nécessité d'une certaine dose de chaux dans le sol pour la majorité des espèces végétales ; la variété de constitution chimique et même physique des régions calcaires, opposée à l'uniformité de constitution chimique et physique des régions siliceuses.

17° *Résumé :* les considérations que nous venons de condenser touchant la classification et la distribution des plantes, selon leurs appétences géiques, sont présentées synoptiquement dans le tableau général ci-joint (p. 216-217).

CLASSIFICATION DES VÉGÉTAUX

en groupements physiologiques correspondant à leurs *appétences géiques* et à leurs *préférences physiques*

APPÉTENCES GÉIQUES				PRÉFÉRENCES PHYSIQUES	
CALCICOLES (Plantes spéciales des terrains calcaires)	CALCIPHILES (la majorité)	Aiment le calcaire et en exigent une dose plus ou moins considérable.	*Exclusives Préférentes*	*Xérophiles* (la majorité)	a. *Lithiques* ou *Saxicoles*
	CALCICOLES SIMPLES (la minorité)	Ne demandent pas beaucoup de calcaire, mais vivent sur les terrains calcaires préférablement, à cause de leurs propriétés physico-chimiques spéciales. Quelques unes peuvent, par exemple, en pays plus chauds, devenir plus ou moins indifférentes.	Toutes *Préférentes*	*Hygrophiles* (la minorité)	
				Thermophiles (Un grand nombre)	
	CALCIFUGES (la majorité) ou *Silicicoles exclusives*	Éprouvent contre le calcaire une répugnance invincible et presque absolue ; quelques-unes peuvent, surtout par transplantation, supporter cependant quelques centièmes de calcaire.	Toutes à peu près *Exclusives*	*Xérophiles* (la minorité)	b. *Péliques* ou *Argillicoles*
SILICICOLES (Plantes spéciales des terrains siliceux)	KALIPHILES (un grand nombre, encore mal connues)	Ne craignent peut-être pas absolument le calcaire, mais exigent beaucoup de potasse qu'elles n'assimilent en quantité suffisante qu'en l'absence du calcaire.	Presque toutes *Préférentes* Un certain nombre d'*Exclusives*	*Hygrophiles* (la majorité)	c. *Psammiques* ou *Arénicoles*
	SILICICOLES SIMPLES ou *Siliciphiles préférentes* (quelques-unes, assez rares, selon nous)	Ne redoutent peut-être pas le calcaire et n'exigent pas non plus beaucoup de potasse, mais vivent sur les terrains siliceux à cause de leurs propriétés physico-chimiques spéciales. Quelques-unes peuvent, par exemple, en pays plus froids, devenir plus ou moins indifférentes.	Toutes *Préférentes*	*Thermophobes* (Un grand nombre)	

SODICOLES (Plantes spéciales des eaux et terrains à chlorure de sodium)	SODICOLES MARINES	Les *sodicoles marines* sont en petit nombre et comprennent surtout les *Algues marines* et les *Zostéracées*.	Toutes *Exclusives* sauf exceptions	Non seulement *Hygrophiles* mais *Aquicoles*	
	SODICOLES TERRESTRES	Les *sodicoles terrestres*, ou plantes des rivages marins, des marais salants et des salines, sont aussi en petit nombre et appartiennent surtout aux *Salsolacées*, *Chénopodiacées*, etc.	*Exclusives* (la majorité) *Préférentes* (la minorité)	Toutes sont plus ou moins *Hygrophiles*	
SALICOLES *diverses* (Plantes spéciales des lieux azotés, sulfureux, ferrugineux, etc., et à sels divers)	NITRICOLES	Plantes préférant les lieux azotés où se forment des sels ammoniacaux et ultérieurement des nitrates.	*Exclusives* (la minorité)	*Xérophiles*	a. *Lithiques* ou *Saxicoles*
	SULFURICOLES	Plantes préférant les eaux et les substratum sulfureux.		*Hygrophiles*	b. *Péliques* ou *Argillicoles*
	FERRICOLES	Plantes préférant les eaux ou les terrains ferrugineux.	*Préférentes* (la majorité)	*Thermophiles* (quelques-unes : plantes des eaux thermales, etc.)	c. *Psammiques* ou *Arénicoles*
OMNICOLES ou *Ubiquistes*	UBIQUISTES LOCALISÉES (Un grand nombre)		*Indifférentes* (Pour beaucoup, cependant, l'indifférence n'est qu'apparente)	*Xérophiles* *Hygrophiles* *Thermophiles*	
	UBIQUISTES COSMOPOLITES (Quelques-unes seulement, très rares)				

Notre maître le Dr A. Magnin a adopté une classification (qu'il publiera d'ailleurs en détail) des végétaux dont voici à peu près le résumé :

PLANTES
- I. Halophiles
  1. *Calciphiles* ou *calcariphiles*.
  2. *Natrophiles*.
  3. *Nitriphiles*.
  4. *Kaliphiles*.
- II. Indifférentes
  1. *Calcicoles*.
  2. *Natrocoles* ou *salicoles*.
  3. *Nitricoles*.
  4. *Kalicoles*.
- III. Halophobes
  1. *Calcifuges*.
  2. *Natrofuges*.
  3. *Nitrifuges*.
  4. *Kalifuges*.

II. — APPLICATIONS DIVERSES

Les connaissances relatives aux relations des plantes avec le sol trouvent leurs applications multiples dans les sciences agricoles :

A. Applications à l'examen de la terre végétale.

B. Applications à la préparation du sol de culture.

C. Applications aux cultures principales.

D. Applications à l'alimentation végétale des animaux.

E. Applications diverses.

A. — APPLICATIONS A L'EXAMEN COMPLET DE LA TERRE VÉGÉTALE

Les considérations exposées dans ce travail nous ont fait comprendre qu'à l'heure actuelle l'agriculture n'est pas seulement pratique, mais scientifique ; que les circonstances économiques des nations exigent la culture intensive et la suppression de la jachère au moyen des fumures et des engrais chimiques, et que cette culture intensive a pour base une *connaissance approfondie du sol*. «Savoir juger un terrain, a dit Viviand-Morel, c'est presque savoir le cultiver».

Nul ne conteste plus aujourd'hui, en effet, qu'il soit indispensable pour l'agriculteur et le viticulteur de bien connaître si une terre est calcaire ou non, et dans quelles proportions. Pour cela, quatre procédés sont à la disposition des intéressés :

1° **L'examen géologique du terrain.**— Ce procédé ne peut évidemment être employé que par les géologues; mais tout agriculteur devrait posséder des notions de géologie et savoir distinguer, au moyen des fossiles et des roches caractéristiques, les principaux étages de l'écorce du globe, tels que les différents schistes des couches paléozoïques, les arkoses triasiques, les calcaires et les marnes liasiques, les puissantes assises jurassiques, les différentes couches crétacées, tertiaires, etc.

Ajoutons toutefois que les indications géologiques sont seulement approximatives et ne renseignent pas sur la quantité de calcaire, de fer, de potasse, etc , contenue dans les roches ; en outre, des *terrains,* des *sols* de culture semblables peuvent être fournis par des couches d'âges géologiques très différents. Mais, somme toute, les données géologiques seront toujours très utiles, surtout dans la recherche des marnes, des phosphates, des mines de houille ou de minerais, des sources et niveaux d'eaux, etc., etc.

2° **L'examen de la flore spontanée du terrain.**— L'existence de plantes calcicoles et calcifuges étant aujourd'hui démontrée, nous concevons que la connaissance, l'analyse de la flore spontanée sera un guide précieux pour la culture. On affirmera, par exemple, que le sol est de nature siliceuse et qu'il manque de calcaire si l'on se trouve en présence des plantes suivantes:

Moutarde à fleurs de giroflée (*Sinapis cheiranthα*), Renoncule à feuille de Lierre (*Ranunculus hederaceus*), Cresson des Pyrénées (*Roripa pyrenaica*), Digitale pourprée, Jasiones diverses (*Jas. montana, J. perennis,* etc.), Chrysanthème des moissons (*Chrysanthemum segetum*), petite Oseille (*Rumex acetosella*), *Arnica montana*, Bruyères (*Calluna vulgaris,* etc.), Spergule (*Spergula pentandra*), Violettes tricolores des champs et des moissons (*Viola agrestis* et *segetalis*), Ajoncs (*Ulex nanus* et *europæus*), Genêt à balai, Genêt purgatif ou griot (*Sarothamnus purgans*), Genêt d'Angleterre (*Genista anglica*), Scléranthe vivace (*Scleranthus perennis*), Angélique des Pyrénées (*Angelica pyrenœa*), Véronique à feuilles de thym (*Veronica acinifolia*), Pied-d'oiseau (*Ornithopus perpusillus*), grande Fougère (*Pteris aquilina*), Joncs (*Juncus squarrosus*), Laiches (*Carex pilulifera, canescens,* etc.) et, parmi les Graminées, la Houlque molle (*Holcus mollis*), les Canches (*Aira aggregata, caryophylla,* etc.), l'Agrostis (*Agrostis vulgaris, A. stolonifera*), la Flouve (*Anthoxanthum odoratum*), le Vulpin (*Alope-*

curus pratensis), etc., etc., ainsi que plusieurs des Ronces et des Rosiers sauvages (Roses gallicanes et glanduleuses, notamment).

L'existence d'un sol calcaire sera révélée, au contraire, par les espèces suivantes : Buis, Hellébore fétide, Nigelle des champs, Globulaire, Hélianthème vulgaire, Euphorbe petit-cyprès (*Euphorbia cyparissias*), nombreuses Légumineuses, telles que : Anthyllide vulnéraire, les Gesses, Vesces, Trèfles sauvages (Tr. rouge, Tr. des montagnes, etc.). Bugrane fétide (*Ononis natrix*), Coronille faux-séné (*Cor. emerus*), Coronille variée, Coronille naine, Lotier corniculé, Genêt d'Espagne, Cytise des Alpes ; plusieurs Orchidées, *Cyclamen europæum*, Polypode du calcaire, Gentiane croisette, etc., etc.

3° **L'examen de la flore cultivée du terrain.**— Les renseignements fournis par les plantes cultivées avec ou sans engrais sont également de nature à renseigner très exactement sur la richesse ou la pauvreté d'un sol en calcaire. Nous parlerons, à ce point de vue, des cultures florales, arborescentes et diverses.

a. *Cultures florales.* Tous les horticulteurs savent que si certaines fleurs, telles que les *Cyclamen*, *Cypripedium*, etc., poussent bien en terre calcaire, un très grand nombre d'autres exigent un sol siliceux et humifère réalisé par la terre de bruyère (1) : telles sont les Camélias, Azalées, Rhododendrons, Kalmias, Ericacées, beaucoup de Saxifragacées, Lobéliacées, Gesnériacées, Vacciniacées, Crassulacées, Fougères, Lycopodes ; beaucoup d'épiphytes, d'humicoles, etc. La connaissance des sols et des appétences géiques des plantes est donc indispensable à l'horticulteur.

b. *Cultures arborescentes.* Bien que les arbres soient, en général, moins sensibles au calcaire que les plantes herbacées, il existe un grand nombre d'essences forestières ornementales dont les préférences doivent être connues. Le Cognassier, le Cerisier des oiseaux (Merisier ou Bigarreaudier), le Cerisier à grappes, le Bouleau, le Châtaignier, le Saule à oreillettes, et parmi les Co-

---

(1) Composition de la terre de bruyère (PAYEN) : *Sable siliceux*, 62 o/o ; *Humus*, 16 o/o ; *Débris végétaux*, 20 o/o ; *Carbonate de chaux*, 0.10 o/o ; matières solubles dans l'eau, 1,90 o/o. Total, 100. — V. aussi : GEORGES TRUFFAUT. *Etude des différentes terres employées en horticulture (Journ. de la Soc. Centrale d'Horticulture de France*, 1893).

nifères, le Pin sylvestre, le Pin maritime, le Sapin de Douglas, etc., ne réussissent bien qu'en sols siliceux.

Par contre, le Cytise à grappes et toutes ses races, le Cytise à feuilles sessiles, le Cerisier Mahaleb (bois de Sainte-Lucie), le Baguenaudier arborescent, le Saule Marceau, le Noyer (1), le Cytise des Alpes ou Faux-ébénier, le Chêne chevelu ou lombard, et certains Conifères, comme le Pin d'Alep, le Pin noir d'Autriche, etc., sont manifestement calcicoles. On s'expose souvent à des mésaventures en plantant dans un sol des arbres auxquels il ne convient pas. C'est pour avoir méconnu ces données de l'influence chimique du sol sur les plantes, que les reboisements tentés en Champagne, notamment dans la région crayeuse de Troyes et de Sens, au moyen du Pin maritime et du Pin sylvestre, ont abouti à un échec complet, alors qu'au contraire le Pin noir d'Autriche, le Saule Marceau, le Cytise des Alpes, végètent très bien dans tous les terrains calcaires ou crayeux.

c. *Cultures diverses.* — Nous parlerons de la culture de la Vigne dans nos études sur la chlorose. Les Légumineuses cultivées nous offrent aussi l'un des plus beaux exemples de plantes affines, très voisines, qui ont pourtant, phénomène inexpliqué, des appétences géiques très diverses et souvent tout opposées, ainsi que le montre le tableau suivant des Légumineuses, Graminées et plantes cultivées diverses :

CULTURES SILICICOLES	CULTURES CALCICOLES
Pois (Pois chiches, etc.)	Fèves. Haricots, Lentilles.
La plupart des Lupins : Lupin bleu, L. blanc (var. de la Prusse orientale), L. jaune, etc. (2).	Gesses, Luzernes, Mélilots.
	Esparcette ou Sainfoin.
Quelques Trèfles (Tr. hérissé, Tr. pied-de-lièvre, Tr. semeur, etc.).	Trèfles (Tr. incarnat, Tr. rouge, etc.).
Lentille d'Auvergne.	
Seigle.	
Avoine.	
Sarrasin.	Froment.
Pomme de terre (3).	Orge.
Spergule.	Houblon (selon BRAANGART, le Houblon est légèrement calcicole).
Serradelle (*Ornithopus sativus*), etc.	

(1) D'après LE JOLIS, la végétation du Noyer est activée si l'on répand autour du pied de l'arbre des débris et matériaux calcaires.

(2) Ces Lupins, qui sont les espèces les plus communément employées par les cultivateurs, sont absolument réfractaires aux sols calcaires, et ne peuvent être utilisés que dans les terres siliceuses, dont elles sont le principal élément fertilisant au point de vue de l'azote. Ces espèces atteignent jusqu'à 1m50 de tige et 1 mètre de racines.

(3) Le Seigle et la Pomme de terre viennent encore bien dans un sol qui se refuse, par son manque de chaux, à produire d'autres récoltes.

En résumé, l'ensemble de la végétation naturelle d'un paysage donné permettra de connaître immédiatement la nature de son sol.

PAYSAGE SILICEUX	PAYSAGE CALCAIRE
Grande Fougère, Genêt à balai, Digitale pourprée, petite Oseille, Arnica, Bruyères, Ajoncs, Merisier, Bouleau, Châtaignier, Pin sylvestre, Seigle, Lupins, Sarrasin, Pomme de terre, etc.	Buis, Hellébore, Globulaire, Laurier des bois, Petit-Houx, Bugrane, Coronilles, Lotier, Cytises, Bois Sainte-Lucie, Pin noir d'Autriche, Légumineuses (un grand nombre), Froment, Orge, etc.

4° **L'examen ou analyse physique et chimique du terrain.** — Il ne suffit pas de connaître si un sol contient du calcaire, il faut encore savoir dans quelles proportions, pour se guider dans le choix des engrais chimiques et des amendements, qui varient selon la teneur en calcaire ; c'est surtout en viticulture que la calcimétrie est nécessaire pour éviter des déboires dans la reconstitution au moyen des plants américains.

L'analyse physique, effectuée au moyen des cribles, puis des décantations progressives, renseignera sur la ténuité du calcaire, qui est un facteur important à connaître.

Parmi les calcimètres, l'un des plus commodes est sans contredit celui de A. Bernard, le regretté professeur de Cluny ; ce calcimètre, bien que parfois insuffisant, est cependant assez approximatif dans la plupart des cas. C'est un des instruments que toute ferme sérieuse devrait posséder. Il existe d'ailleurs un grand nombre d'autres appareils calcimétriques, calcarimètres, etc. (1).

Quant à la détermination chimique des autres éléments du sol, tels que potasse, acide phosphorique, azote, etc., elle ne peut s'effectuer que par une analyse complète, qui exige des connaissances scientifiques étendues et un laboratoire spécial, outillé en conséquence comme le sont les laboratoires de quelques stations agronomiques ou de certains établissements privés. Il ne faut pas non plus s'exagérer trop l'importance de l'analyse chimique et négliger les autres renseignements.

« La composition chimique, les propriétés physiques, a dit Boussingault (1859), ne permettent pas, selon moi, de se prononcer

(1) Les principaux, outre celui de Bernard, sont ceux de Trubert, Houdaille, etc.

sur le degré de fertilité de la terre. Pour statuer avec quelque certitude, il est indispensable de recourir à l'observation directe ; il faut cultiver une plante dans le sol, et constater avec quelle vigueur elle s'y développe ; l'analyse intervient ensuite utilement pour signaler la qualité et la quantité des éléments assimilés ». Cependant, depuis Boussingault, l'expérience culturale qu'il a préconisée a été faite ; on sait parfaitement quelles sont les plantes calcifuges, ou calcicoles, ou indifférentes, et tous les traités d'agriculture s'unissent pour dire : semez ou plantez tel ou tel végétal dans tel ou tel terrain. C'est donc bien le sol végétal qu'il faut connaître non seulement par l'examen géologique, botanique et cultural, mais aussi et surtout par la triple analyse mécanique, physico-chimique et chimique.

B. — APPLICATIONS A LA PRÉPARATION DU SOL. — AMENDEMENTS ET ENGRAIS

Si l'on connaît bien la structure et la composition du terrain à cultiver, il sera facile de se rendre compte de ses défectuosités et de les corriger, dans la mesure du possible, par des amendements ou des engrais appropriés. Les engrais sont les matières fertilisantes qui agissent directement sur les plantes sans modifier la constitution physique du sol. Les amendements sont les matières, fertilisantes ou non, agissant ou n'agissant pas directement sur les plantes, mais modifiant et améliorant la constitution et les propriétés physiques du sol. On peut, en effet, employer comme amendements, soit des substances chimiquement inertes (comme les fragments quartzeux que l'on mélange au sol trop compact pour l'ameublir, l'aérer, etc.), soit, le plus ordinairement, des substances agissant activement et chimiquement en même temps que passivement. Au surplus, la plupart des amendements favorisent ou provoquent dans le sol des réactions qui rendent assimilables des matières qui, sans eux, seraient inutilisées. Les plus importants, les seuls qui nous intéressent directement, sont les amendements et engrais calcaires (chaulage, marnage, plâtrage), qui donnent aux sols siliceux la chaux dont ils ont besoin.

On sait que les sols vierges provenant des roches primitives

et éruptives anciennes (1) sont toujours fort pauvres en chaux et sont voués à la stérilité si on n'a soin de les chauler.

Les terres volcaniques récentes sont mieux pourvues en chaux (8 à 12 o/o en moyenne).

Les carbonate, phosphate, sulfate et humate de chaux sont les sels calciques les plus importants du sol. Les silicates, nitrates, chlorures et fluorures sont assez accessoires. Au point de vue de l'alimentation des plantes, de faibles quantités de chaux suffisent, surtout pour les calcifuges ; mais au point de vue des réactions chimiques et de ses propriétés physiques, le sol exige beaucoup de calcaire pour les entretenir et les activer ; le calcaire joue surtout un rôle important dans l'ameublissement et la perméabilité du sol : les terres *franches* lui doivent leurs qualités. La chaux est donc plus utile comme amendement que comme engrais.

De plus, « ce n'est pas assez, dit Boussingault (*Économie rurale*, 2e édit., t. II, p. 231), qu'une terre compte la chaux au nombre de ses éléments pour qu'on soit dispensé de la plâtrer ou de la chauler, il faut, de plus, que cette chaux s'y trouve à l'état de carbonate ». Il est vrai que la chaux se carbonate toujours à l'air ; c'est pourquoi l'on a pu confondre les effets de la *chaux* avec ceux du *calcaire*.

1° Marnage et Chaulage

Le calcaire et la chaux, dont l'usage est extrêmement ancien, puisque Pline nous apprend que les bons effets de la marne étaient connus des Gaulois, Bretons, Grecs et Romains, agissent à la fois comme amendements et comme engrais. Toutefois, les amendements calcaires et les divers engrais chimiques et fumures sont absolument solidaires; ils doivent toujours s'associer et se soutenir réciproquement, et être modérés, sinon, selon le vieil adage : la chaux enrichit le père, mais ruine les enfants.

(1) Tels les sols de Pomeys et de Charbonnières ayant servi à nos expériences.

La *marne* (*marnage*) est un calcaire impur qui se débite dans l'eau et se pulvérise par l'effet de la gelée. Il y a des *marnes calcaires* (50 à 95 o/o de CO^3Ca) ; *argileuses* (10 à 50 o/o de CO^3Ca, 50 à 75 o/o d'argile) ; *siliceuses* ou *sableuses* (10 à 50 o/o de CO^3Ca, 50 à 75 o/o de sable) ; *magnésiennes* (5 à 30 o/o de carbonate de magnésie) ; *gypseuses*, etc.

La *chaux* (*chaulage*), ou oxyde de calcium, se retire des pierres calcaires, par leur cuisson, à l'état de chaux vive. Puis cette chaux vive, arrosée d'eau, s'échauffe, dégage de la vapeur, se fendille, se gonfle (elle double ou triple son volume), et finalement se refroidit et se réduit en une poudre blanchâtre : c'est la chaux grasse éteinte, qui contient environ 75 o/o de chaux et 25 o/o d'eau. Cette chaux, répandue dans le sol, se carbonate, mais néanmoins il est préférable de chauler les sols siliceux avec de la chaux et non avec du calcaire, car la poudre de chaux naturelle est très ténue, si ténue même qu'aucun procédé artificiel ne pourrait si finement pulvériser le calcaire ; d'autre part, la chaux, avant de se carbonater, conserve quelque temps sa causticité et réagit ainsi plus activement que le calcaire sur les matières du sol.

Joulie, Grandeau, Müntz, Bouscasse, entre autres savants agronomes, ont magistralement décrit les effets du chaulage. Ces effets sont d'ordre physique, chimique et physiologique.

a. **Effets physiques du chaulage.** — Le calcaire divise le sol (travaux de Schlœsing, etc.). Il réagit sur l'argile, lui enlève une partie de sa plasticité ; il rend les terres meubles, poreuses, aide à la filtration de l'eau et de l'air, diminue ou supprime les efflorescences ou croûtes qui se forment sur les sols argileux ayant reçu de grandes quantités d'engrais solubles ; il accroît l'échauffement du sol, etc.

Les sols argileux et tourbeux doivent être chaulés au moyen des marnes sableuses ; les sols sableux et meubles demandent, au contraire, des marnes argileuses qui remédient à leur manque de compacité.

b. **Effets chimiques du chaulage.** — Les effets chimiques du chaulage sont au nombre de cinq principaux :

1° Le calcaire neutralise et sature les acides qui se produisent dans le sol par la décomposition lente des matières organiques, et lui conservent une réaction neutre ou légèrement alcaline. Dans la tourbe ou la mousse en particulier, la chaux neutralise l'acide humique, rend la tourbe poreuse, meuble, aérée, et favorable à la végétation. Dans les sols pyriteux, qui sont stériles par suite de l'acide sulfurique résultant de l'oxydation du soufre des pyrites, l'apport de chaux arrête cet empoisonnement du sol en formant du plâtre, en se combinant avec l'acide sulfurique ;

2° Le calcaire, ainsi que l'ont prouvé de nombreuses expériences, réagit sur diverses roches, et notamment sur les silicates de potasse en s'unissant avec la silice, mettant ainsi la potasse en liberté. Le calcaire mobilise et excite donc l'assimilation de la potasse par les plantes, lesquelles sont, de fait, plus riches en potasse après un chaulage. Néanmoins, l'*excès* du calcaire est nuisible, nous l'avons vu, en empêchant l'absorption de la potasse ;

3° Le calcaire transforme de même les phosphates insolubles et favorise l'absorption de l'acide phosphorique. Cette propriété lui est commune, d'après les recherches de Gerlach, avec le carbonate de magnésie et le sesquioxyde de fer hydraté. Plus le sol sera riche en chaux, plus l'acide soluble du superphosphate se combinera à cette base et demeurera assimilable par la plante (Dehérain) ;

4° Le calcaire décompose les matières organiques insolubles et favorise la formation de l'ammoniaque (Boussingault). Le fumier disparaît plus rapidement dans les sols riches en chaux que dans les sols pauvres, appelés *morts* ou *paresseux*. Le calcaire favorise donc, chimiquement, l'assimilation des matières organiques ;

5° Enfin, le calcaire active la nitrification, en maintenant les conditions favorables à la vie et à la multiplication des microbes nitrificateurs, car la nitrification, indispensable pour transformer en azote assimilable l'azote inerte des matières organiques,

ne s'effectue que par l'action de ferments figurés, des microbes terricoles (Schlœsing, Müntz, Winogradsky, etc.) et en présence du calcaire.

Personne n'ignore que la Bretagne et la Sologne ont été complètement révolutionnées par le chaulage (1); ces terres, pourtant si riches en matières organiques qu'elles en étaient noires, demeuraient stériles ; la chaux a mis en circulation cette masse de matières fertilisantes inactives et a fertilisé le sol. Néanmoins, l'excès de chaux est nuisible et, même à petite dose, la chaux tue les bactéries des Légumineuses, selon les recherches du Dr Salfeld. Il faut donc éviter le chaulage des sols siliceux destinés à porter des Légumineuses. D'autre part, E. Laurent a montré que la chaux, répandue en abondance sur le sol, prédispose plusieurs plantes, et particulièrement les Pommes de terre, à la pourriture bactérienne.

e. **Effets physiologiques et divers du chaulage.** — La chaux est pour les plantes un aliment, tout comme l'acide phosphorique, la potasse, etc. Les plantes en ont besoin, et effectivement elles savent extraire de fortes doses de chaux du sol le plus siliceux. Les Graminées, en particulier, enlèvent au sol environ 140 kil. de chaux par hectare. La chaux, d'autre part, chasse les mauvaises herbes (Sanve, Oseille, Crête-de-coq, Colchique, Ivraie, Prêles, etc.) silicicoles ; ces mauvaises herbes, avec la généralisation du chaulage, tendront à disparaître complètement, à moins qu'elles ne puissent se familiariser et s'adapter au calcaire. La chaux augmente la quantité et la qualité des plantes fourragères (Graminées, Légumineuses, etc.) et de toutes les plantes agricoles en général. Il n'est pas jusqu'aux fruits qui deviennent plus tendres, plus savoureux, plus digestifs, plus nutritifs en sols calcaires (Bouscasse).

Malgré ses inconvénients et ses effets nocifs sur les Vignes américaines, sur quelques Légumineuses et sur toutes les

(1) V. aussi : L. Daniel. *Influence de la chaux sur la végétation spontanée du département de la Mayenne.*

plantes silicicoles en général, le calcaire est nécessaire aux plantes, et la pratique du chaulage doit être encouragée.

d. **Pratique du chaulage.** — Le chaulage des prairies acides et plus ou moins humides des bas-fonds granitiques et schisteux permet aux bonnes espèces de se substituer aux espèces aigres et dures. Mais le chaulage doit être très modéré (*chaulage d'entretien*, 1000 kilog. environ à l'hectare par an), sauf de temps en temps, tous les quatre ans par exemple, où la dose peut être augmentée (*chaulage de régénération*, 2000 à 5000 kilog. de chaux grasse à l'hectare). Le chaulage des champs de culture est également très utile pour libérer la potasse, la magnésie, etc., mais il doit être précédé d'un labour de défoncement pour disséminer en profondeur les matières organiques superficielles. Le chaulage en pays granitiques est fait ordinairement au moyen de phosphates de chaux (poudres d'os, etc.) qui constituent en même temps et surtout un engrais.

2° Plâtrage

Au XVIII[e] siècle, Mayer, Tschiffeli et Schubart en Allemagne, puis Franklin près de Washington, ont vulgarisé l'emploi du plâtre en agriculture. Le plâtrage s'exécute ordinairement au moyen de plâtras, de décombres, de plâtre naturel, etc. ; mais il ne peut remplacer le chaulage et le marnage, parce qu'il est plus cher, parce qu'il n'a pas les mêmes réactions et parce qu'il ne modifie pas autant les sols. D'après Dehérain, le plâtre favorise la diffusion de la potasse dans le sol, en donnant, par ses réactions sur les silicates insolubles, des sulfates solubles.

Contrairement à la chaux qui agit chimiquement, le plâtre agit beaucoup physiquement pour délier, pour mobiliser les substances solubles que la terre renferme. Il aurait pour mission, selon Dehérain, de liquéfier les sels solubles retenus dans la terre et permettrait, en même temps qu'à l'eau de les dissoudre, aux plantes de les absorber. C'est parmi ces substances solubles, importantes pour les végétaux, que se place en première ligne la potasse ; c'est sur elle que le plâtre exerce surtout son action.

Le plâtre est un énergique fertilisant pour les Légumineuses : on le jette sur les feuilles à 200, 300 ou 400 kilog. par hectare, ou bien on en saupoudre les fumiers. Il est sans effet sur les Céréales et sur les Graminées des prairies. Il agit peu sur les Betteraves, Navets, Pommes de terre, qui sont cependant sensibles à la chaux, ce qui prouve bien que les sols gypseux ne peuvent être assimilés aux sols calcaires.

3° Engrais divers

Nous n'avons pas à donner ici la théorie ni la technique des différents engrais azotés, phosphatés, etc. Leurs applications sont connues de tous les agronomes, et n'ont d'ailleurs aucun rapport direct avec la présence ou l'absence du calcaire dans le sol.

Nous dirons quelques mots seulement d'un point de vue nouveau, mis récemment en relief par E. Laurent ; ce sont les relations des engrais avec les maladies cryptogamiques et microbiennes. On sait qu'une forte alimentation minérale donne aux plantes une plus grande force de résistance à leurs parasites. Les travaux de E. Laurent ont abouti aux conclusions suivantes :

La chaux, d'une manière générale, diminue la résistance à la pourriture bactérienne, qui menace aujourd'hui d'envahir les cultures. Les engrais azotés et potassiques ont des effets analogues, mais moins accentués.

Au contraire, les phosphates et parfois le chlorure de sodium accroissent souvent la résistance (Carottes, Pommes de terre, etc.), mais dans certains cas, la diminuent au contraire (Topinambour). « La nature du sol et la composition des engrais influent nécessairement sur la résistance des plantes à leurs parasites ».

C. — APPLICATIONS AUX PRINCIPALES CULTURES ET A L'AGRICULTURE RÉGIONALE

Nous avons déjà indiqué les préférences de certaines plantes pour des matières minérales déterminées, sols naturels ou

engrais. La théorie des dominantes résulte des observations faites comparativement sur le sol et sur les plantes.

La Betterave, les Graminées des prairies, le Colza, le Froment, l'Orge, l'Avoine, le Seigle, le Chanvre, etc., plantes à dominante *azote*, exigent beaucoup d'engrais azotés (nitrates de potasse, de soude ; sulfate d'ammoniaque, etc.). Il en est de même de la Pomme de terre, des Raves, Carottes, Navets, du Tabac, du Houblon, etc.

Les Maïs, le Sarrasin, les Turneps, Rutabagas, Navets, le Sorgho, le Topinambour, à dominante *acide phosphorique*, exigent beaucoup d'engrais phosphatés (superphosphate de chaux, phosphate précipité, phosphates naturels, organiques ou minéraux, etc.). Il en est de même des Choux, des Graminées des prairies naturelles, des Betteraves, etc.

Les Légumineuses (Luzernes, Trèfles, Féveroles, Haricots, Pois, Sainfoin, Vesces), le Lin, la Pomme de terre, etc., à dominante *potasse*, exigent beaucoup d'engrais potassiques (chlorure, carbonate, sulfate de potassium ; nitrate de potasse, etc).

Toutefois, lorsqu'une même plante exige plusieurs engrais différents (comme par exemple la Betterave qui demande à la fois du superphosphate et du nitrate de soude), il importe de savoir que ces engrais ne peuvent pas toujours être mélangés ou répandus ensemble impunément. Le nitrate de soude (ou salpêtre du Chili) ne doit jamais être mélangé ou donné simultanément avec les superphosphates. Les scories basiques et la chaux vive ne doivent pas non plus être mélangées avec la plupart des autres engrais naturels ou chimiques, tels que sulfate d'ammoniaque, guano brut ou dissous, engrais d'étables et de latrines, farine de sang ou sang frais, superphosphates, phosphates bruts, sels de potasse, etc.

Bien que les plantes calcicoles cultivées puissent, en général, être considérées comme des plantes à dominante *chaux*, le chaulage est pour elles excellent et nécessaire dans les pays pauvres en calcaire, concurremment avec les engrais spécifiques.

C'est l'inverse pour les plantes silicicoles, pour lesquelles, ainsi que nous l'avons dit antérieurement, la *potasse* pourrait bien être l'aliment et l'engrais préféré.

L'agriculture locale tire le plus grand profit des rapports des

plantes avec leur substratum et des notions sur les exigences de ces plantes en engrais naturels ou chimiques. En voici un exemple tiré de la région lyonnaise, et pour l'exposé duquel nous prenons modèle sur les excellentes descriptions de l'agriculture du Morvan, présentées par E. Risler (*Géologie agricole*, t. I, 1884) et récemment (1899) par Pasquet (*Ann. de la Sc. agron.*).

L'agriculture des Monts du Lyonnais granito-gneissiques et des Monts-d'Or calcaires présente des contrastes frappants.

Dans le Mont-d'Or, sur les plateaux et les éboulis jurassiques, partout où l'abondance des cailloux et le peu de profondeur du sol rendent la grande culture impossible, les terres sont surtout plantées en bois et en vignes. Les bonnes terres liasiques et les alluvions, très perméables, permettent seulement la culture des céréales et des plantes fourragères. Seules, quelques pentes marno-calcaires du lias, moins sèches par conséquent, portent des prairies.

Dans les Monts Lyonnais siliceux, au contraire, les bas-fonds argileux et les roches imperméables du sous-sol permettent aux prairies de se développer. Le cultivateur y trouve avantage, car la main-d'œuvre est peu coûteuse, le travail plus facile et plus agréable, et le bétail est le seul produit de la ferme qui n'ait pas subi une baisse trop forte.

En hiver, les bestiaux, lorsque le foin est épuisé, consomment des pailles, ainsi que des racines et des tubercules (Navets, Turneps, Rutabagas, etc.), ou bien des feuilles ou *bauches* (Maïs, etc.) de plantes cultivées dans ce but.

Ces cultures occupent en effet une place importante à côté du Blé, des Pommes de terre, de l'Avoine, etc.

Autrefois, les Monts Lyonnais ne produisaient pas de Froment : le Seigle formait le pain du paysan et constituait d'ailleurs la céréale par excellence de ces terres légères et dépourvues de chaux. Mais, depuis la pratique des amendements calcaires (poudre d'os, phosphates divers, chaux, etc.), la culture du Blé s'est généralisée et les champs sont devenus plus fertiles. En quelques points même, l'excès de chaulage a brûlé la terre qui, après quelques bonnes récoltes, est redevenue pauvre ; cela tient aussi à ce que certains cultivateurs ne soignent pas leur fumier, en laissent perdre une partie, ou n'en récoltent pas assez.

Pour accroître leur production de fumier, les paysans devraient

augmenter leur production de plantes fourragères; ils pourraient ainsi mieux nourrir leur bétail l'hiver, le laisser plus longtemps à l'étable, et la paille, au lieu d'être donnée en nourriture, serait réservée en grande partie pour la litière, augmentant ainsi le tas de fumier.

Les amendements calcaires, accompagnés toujours d'engrais appropriés et de fumures abondantes, doivent être généralisés dans cette région. La culture, tout en devenant de plus en plus intensive, n'affaiblira pas la fertilité du sol, à condition de donner à la fois à la terre engrais, amendements et fumures.

Dans le Lyonnais, comme Pasquet l'indique pour le Morvan, les engrais potassiques seront donnés aux terres calcaires de l'oolithe inférieure du Mont-d'Or. « Les engrais phosphatés produiront de bons résultats partout, réservant les superphosphates pour les terres pourvues de chaux, et préférant les scories basiques et les phosphates naturels pour les formations granitiques. Enfin, le nitrate de soude, répandu à la dose de 100 à 150 kil. à l'hectare, complétera très heureusement ces précédentes fumures ».

D. — LE SOL ET L'ALIMENTATION VÉGÉTALE DES ANIMAUX DE LA FERME

Si certaines plantes souffrent et se chlorosent sous l'influence du calcaire et de la chaux, il n'en est pas de même, sauf exception, pour les animaux qui, eux, sont toujours calciphiles, les vertébrés surtout.

Il y a quelque soixante ou quatre-vingts ans, alors que les régions naturelles n'étaient pas encore transformées et unifiées pour ainsi dire par les chemins de fer permettant les échanges et les transports d'engrais, d'aliments et de toutes les matières utiles, la composition chimique du sol exerçait une influence manifeste sur les animaux (Magne, Sanson, Boitel, Cornevin, etc.) et sur l'homme lui-même (Dr Durand, de Gros (1), etc.).

Aujourd'hui encore, les hommes du Ségalas sont bien différents des Caussenards, et l'influence du calcaire se manifeste par l'alimentation végétale sur les principaux animaux domestiques.

(1) V. *Bull. Soc. d'Anthropologie*, 1868; etc.

« Dans les contrées siliceuses, dit Magne (*Agriculture*, 1873), les animaux sont sobres, rustiques, légers, vifs, mais petits, si le pays est sec, l'herbe rare; assez forts, trapus, mais plus chargés de tissus mous et d'os que de muscles, si le climat est humide et l'herbe abondante. Les troupeaux y prospèrent peu et y sont exposés à la pourriture. Le mouton des landes de Bretagne, des chaumes des Vosges, des bruyères du Rouergue et du Quercy, y est de peu de valeur. On dit que cette nature de terrain n'est pas favorable à la production des belles laines ».

Dans les pays à sol calcaire, les animaux sont forts, lourds et trapus. « Les bestiaux passent toujours avec avantage d'un sol granitique dans un sol calcaire, tandis qu'ils n'éprouvent jamais impunément le changement inverse..... Les terres calcaires sont appropriées à l'élevage du mouton. Elles ne sont pas aptes à favoriser le développement des bêtes bovines : les races de la Suisse, du Doubs, du Calvados, le démontrent; les bœufs d'Aubrac acquièrent dans les Causses de l'Aveyron, du Tarn, des dimensions qu'ils ne prennent jamais, même dans les pâturages volcaniques de leur pays natal : ils y deviennent grands, trapus, épais, comme cela ne se voit que dans les plus riches herbages. La race équestre du Perche, comme les chevaux des plaines de Caen, témoignent assez en faveur de l'aptitude des sols calcaires à produire d'excellents chevaux ». La nature du sol, en effet, malgré tous les engrais ou amendements, et *a fortiori* sans eux, influe toujours beaucoup sur la valeur nutritive des plantes alimentaires, et le calcaire surtout semble être un élément nécessaire pour rendre nutritives et substantielles les plantes absorbées par le bétail. Boitel (1880-82), entre autres, a fort bien étudié ces questions. Ainsi qu'il le fait remarquer, les meilleurs herbages de la France dérivent d'alluvions d'origine crétacée ou jurassique. Ce fait se vérifie parfaitement pour les herbages du Charolais, Nivernais, vallée de Germigny (Cher), vallée d'Auge (Normandie), etc. Bien que, pour la plupart, elles soient considérées comme indifférentes, les mêmes plantes venues sur un sol privé de calcaire, par exemple sur les terres siliceuses de la Sologne, des Dombes, des Vosges, des landes de Gascogne, du Morvan, de la Bretagne ou de la Corrèze, sont loin d'avoir les mêmes qualités nutritives.

Aussi les pays calcaires se livrent-ils indifféremment à l'élevage ou à l'engraissement du bétail, tandis que les régions non calcaires s'adonnent forcément à l'élevage des races les plus rus-

tiques et les moins exigeantes. Ainsi, dans la zone de ceux des affluents de la rive gauche de la Saône qui viennent des Vosges, de la Bresse et des Dombes, croissent des foins et des herbes maigres qui conviennent seulement à l'élevage des animaux. Il en est de même pour la région granito-gneissique des Monts Lyonnais que nous avons, dans un récent travail (1898), étudiée et décrite à ce même point de vue des relations du sol, par les plantes, avec les animaux.

Au contraire, les eaux calcaires de la rive droite de la Saône, en Saône-et-Loire notamment, coulent au milieu des formations jurassiques qui produisent des herbes substantielles telles qu'il en faut pour faire des animaux de boucherie. La race charolaise et la race femeline, renommées pour leur finesse et leur aptitude à l'engraissement, pâturent des herbages de nature calcaire.

Les races des Vosges et de la Dombes sont les seules à qui suffisent les herbes moins substantielles des régions siliceuses et privées de calcaire: « Ce sont là, ajoute Boitel, des effets physiologiques bien importants à noter quand il s'agit d'exploiter le bétail par la végétation spontanée du sol. Il serait imprudent de marcher à l'encontre de ces circonstances naturelles ». Les bovidés bressans, les chevaux dombistes, les bœufs et moutons des Monts Lyonnais et du Morvan, nourris (sans addition de tourteaux, de sels phosphato-calciques et de grains achetés ou récoltés sur place) par le foin et les herbes des terres siliceuses de ces régions, restent petits, peu précoces, et plus aptes au travail ou à la lactation qu'à l'engraissement.

En résumé, « si l'on veut s'en tenir à l'exploitation pure et simple de la prairie naturelle ou de l'herbage, sans acheter d'autres aliments ni passer par les soucis d'une culture alterne, il faut tenir compte sérieusement de la nature de l'herbe produite par le sol et savoir choisir les animaux qui la consomment ».

Ici encore le chaulage exerce les effets les plus bienfaisants sur les animaux. Dans le Morvan, dans les Monts granitiques du Beaujolais, Forez, Lyonnais, Pilat, etc., la chaux, dont l'amélioration des routes a rendu possible le transport, a favorisé l'éducation du gros bétail et l'introduction des races charolaise et nivernaise, parce qu'elle a opéré la transformation des fourrages aigres et peu nutritifs des sols granitiques en fourrages analogues à ceux des contrées calcaires.

« On peut voir, dit E. Risler (*Géologie agricole*, t. I), cette trans-

formation des fourrages à la limite septentrionale du Morvan, près de Semur, sur les bords de l'Armançon qui coule au fond d'une vallée granitique dont un des côtés est recouvert par les marnes du lias. Les prés qui descendent vers la rivière sont sur le granite; mais, par-ci par-là, les eaux de pluie, en ravinant les champs de lias qui les dominent, y ont amené de larges bandes de boue à la fois calcaire et riche en phosphates. Partout où ce limon a été répandu sur les prés, il y a une toute autre flore que sur le granite pur. Les Légumineuses y abondent, tandis qu'elles sont très rares sur le sol granitique ».

E. — APPLICATIONS DIVERSES

Les études des microbiologistes, et notamment celles toutes récentes de E. Laurent, dont nous avons déjà parlé, ont mis en lumière les rapports des parasites et des microbes avec la composition chimique du sol.

Magne et ses contemporains avaient déjà remarqué, il y a un demi-siècle, que les terrains calcaires, si favorables aux meilleures plantes et aux animaux les plus utiles, donnent naissance, par contre, *aux plus graves maladies*, surtout chez les ruminants. « C'est dans les plaines du Centre, dit-il, qu'on remarque les affections charbonneuses les plus meurtrières. Le sang de rate du bœuf, comme celui du mouton, vient dans les mêmes circonstances. Il suffit souvent de conduire les troupeaux dans lesquels sévit cette maladie sur des terres sablonneuses, argileuses ou schisteuses, pour faire cesser la mortalité ; tandis que la pourriture, si fréquente sur les terres siliceuses et argileuses, disparaît quand on conduit les troupeaux sur les terrains calcaires. Dans le Languedoc, dans la Provence, on fait la même observation que dans le bassin de Paris. C'est également sur les Causses de l'Aveyron, plutôt que sur les Ségalas, que sévit le charbon. De même dans les Pyrénées, c'est plutôt dans les contreforts calcaires de ces montagnes que sur leurs sommets siliceux que se montre, dans le cheval comme dans le bœuf et le mouton, cette terrible affection ».

Magne ne connaissait pas encore la cause exacte de ces maladies. Aujourd'hui, la bactériologie nous la fait comprendre : les microbes, pathogènes ou non, sont d'abord moins nombreux sur les montagnes, où l'air est pur, que dans les plaines, où l'air est toujours souillé de germes ; ceci, indépendamment de l'action de la nature du sol.

D'autre part, en effet, nous savons que les microbes pullulent en milieux neutres ou alcalins, comme le sont les eaux et les sols calcaires, et périssent en milieux acides, comme le sont les eaux granitiques et les sols siliceux. N'a-t-on pas remarqué aussi que les épidémies du choléra de l'homme et du choléra des poules sont plus meurtrières et plus durables dans les régions calcaires que dans les pays granitiques ?

Cependant, les sols *siliceux*, *compacts* et *argileux*, sont avantageusement purifiés et modifiés par le chaulage; c'est ce qui explique en partie l'influence antimalarique de la chaux (E. J. Grellet, 1899). Le chaulage a, en effet, fait disparaître la malaria du plateau de Châtillon-sur-Loing (Loiret) et a eu certainement un effet analogue sur les terres argileuses du Forez et de la Dombes. Il se peut que l'hématozoaire de Laveran redoute, lui, le calcaire, mais l'action de la chaux peut s'expliquer par la friabilité, l'ameublissement qu'il procure aux sols argileux. Ou bien « le rôle de la chaux, dit Grellet, s'est-il borné à faciliter l'action du soleil, de l'oxygène et de certains autres agents, connus ou inconnus, puissants destructeurs de microbes pathogènes » ? Quoi qu'il en soit, il est certain que les côtes calcaires de la Manche, la Beauce calcaire (rive droite de la Loire), la Basse-Egypte calcarisée par l'eau et le limon du Nil, sont des régions exemptes de malaria, comme aussi les régions granitiques non argileuses.

RÉSUMÉ

Telles sont les principales applications, esquissées à grands traits, des rapports intimes qui unissent les plantes à la nature chimique du terrain.

Puissions-nous, dans ces études rapides, avoir contribué à rendre un peu plus *classique* cette notion de Botanique appliquée

DEUXIÈME PARTIE

ÉTUDES

HISTORIQUES, CRITIQUES ET EXPÉRIMENTALES

SUR LA

CHLOROSE DES PLANTES SILICICOLES

EN SOLS CALCAIRES

CHAPITRE PREMIER

ÉTUDES SUR LA CHLOROSE — CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

L'étude de l'état pathologique des plantes connu sous le nom de chlorose (1) est pour ainsi dire un corollaire naturel et nécessaire de l'influence chimique exercée par le sol.

Ainsi que nous l'avons démontré dans nos expériences sur les plantes silicicoles cultivées en sols calcaires, l'action no-

(1) Le mot *chlorose*, usité pour désigner certaines décolorations des feuilles, est doublement défectueux: étymologiquement d'abord, puisqu'il signifie *vert jaunâtre*; et pratiquement, puisqu'il est employé dans des cas morbides dus à des causes différentes. Néanmoins, nous l'emploierons par respect pour l'usage; mais nous lui adjoindrons le synonyme *flavescence*, plus exact selon nous (V. chapitre sixième : altérations trophiques des feuilles).

cive du carbonate de chaux, notamment, se traduit non seulement par des altérations morphologiques externes ou internes, mais aussi par la *décoloration progressive*, ou *chlorose*, des appareils chorophylliens.

Nous devons donc étudier en détail cette *flavescence* engendrée par le calcaire chez les plantes calcifuges.

Nous ne nous dissimulons pas la difficulté de notre tâche.

Avant nous, les chloroses végétales ont préoccupé de nombreux savants et praticiens ; et après nous, ces états morbides seront encore étudiés et discutés, car dans l'interprétation des faits et des résultats expérimentaux, le champ est toujours ouvert aux discussions, par suite des différents points de vue auxquels on peut se placer pour expliquer les phénomènes physiologiques et pathologiques.

La chlorose n'a pas été bien étudiée scientifiquement, que nous sachions, chez les plantes de la flore sauvage ou spontanée ; c'est pourquoi nous avons porté notre attention sur ce point important. Mais, par contre, elle est depuis longtemps connue et observée dans ses manifestations multiples sur les plantes cultivées. De tout temps, en effet, et bien avant la crise phylloxérique qui a motivé la culture des plants américains calcifuges, les vignerons et jardiniers charentais et champenois ont observé le jaunissement des Vignes françaises et de certains arbres fruitiers dans les terrains les plus calcaires, surtout lors des années à printemps pluvieux. Toutefois, la revue bibliographique que nous présentons ci-après démontre que la chlorose n'a vraiment inquiété le monde agricole que depuis une vingtaine d'années environ, et aux seuls points de vue pratique et thérapeutique.

Il n'existe donc encore aucune étude scientifique complète et générale des chloroses végétales. Seuls, quelques traités de pathologie végétale présentent une analyse sommaire des causes présumées et des caractères extérieurs de ce complexus morbide ; et les innombrables articles et notes sur la chlorose insérés dans les publications périodiques d'agriculture et de viticulture sont presque tous consacrés exclusivement aux traitements et aux remèdes.

Nos études sur la chlorose, que nous avons effectuées sous

la direction de M. le Professeur Magnin, et que nous présentons dans ce mémoire au jugement et à l'indulgence du monde scientifique et agronomique, auront donc, nous l'espérons, le mérite d'avoir mis la question au point et d'avoir apporté, dans la mesure de nos moyens, de nouveaux éléments dans le débat. Nous serons trop heureux si nos efforts ont pu contribuer à activer la solution de ce difficile problème biologique.

Déclarons hautement, tout d'abord, que l'étude des chloroses végétales n'est, contrairement à ce que l'on a pu dire et écrire (1), ni une question de chimie, ni une question de botanique, mais bien une question mixte, c'est-à-dire dépendant du domaine de la physiologie générale et comparée.

C'est en nous basant à la fois sur l'étude anatomique et chimique des organes chlorotiques que nous pourrons tenter d'exposer le processus morbide. Ajoutons qu'en ce qui nous concerne, nous déplorons l'insuffisance des données actuelles de la chimie végétale. Nous adressons donc à tous les chimistes biologues un appel que nous voudrions rendre plus éloquent et plus pressant encore, et nous leur signalons principalement l'étude des chlorophylles et des matières intracellulaires, sur lesquelles nous ne possédons encore que des renseignements controversés, insuffisants pour servir de base stable aux études physiologiques.

Peut-être, hélas! y aura-t-il, toujours et malgré tout, un abîme entre la chimie et la physiologie, puisque les réactions et colorations chimiques ont inéluctablement pour effet d'*altérer* et de *tuer* même les matières vivantes, et que, par conséquent, il n'est pas possible d'assimiler ces réactions et colorations à celles qui s'effectueraient si nous pouvions travailler et modeler, sans les troubler ni les altérer, ces mêmes matières vivantes. Cependant, nous ne poussons point le pessimisme jusqu'à croire, avec G. Coutagne, que « ce qu'on sait de la chlorose est suffisant pour qu'on renonce, sinon à en étudier le mécanisme, du moins à essayer de la

(1) V. Coutagne. *Progrès agricole*, 10 avril 1892, p. 301.

guérir! ». Au contraire, loin de décourager les chercheurs, et de nous décourager nous-même, nous avons foi en l'avenir et nous nous écrions bien haut: *Excelsior!* Toujours plus haut, toujours plus avant!

L'étude des chloroses n'est point non plus du domaine exclusif de la viticulture. La chlorose par le carbonate de chaux, qui est sans contredit la principale, la plus générale et la plus grave, celle dont nous nous occuperons spécialement, est bien, il est vrai, la chlorose générale des Vignes. De nombreux et savants viticulteurs ont, soit par l'expérience, soit par l'observation, essayé de donner la théorie de la chlorose des Vignes. Nous leur savons gré de leurs efforts et nous reconnaissons les résultats importants auxquels ces efforts ont abouti, résultats dont nous profiterons d'ailleurs.

Mais le moment semble venu d'arracher la chlorose au domaine de la pratique viticole pour la réintégrer dans le giron de la science pure.

Au surplus, ainsi que nos expériences l'ont démontré, *toutes les plantes, spontanées ou cultivées*, sont susceptibles de chlorose, et non pas seulement les Vignes, les arbres fruitiers et les plantes horticoles.

Avant d'entrer dans l'exposé détaillé de nos expériences et de nos recherches, nous croyons devoir présenter un exposé historique succinct des principaux travaux relatifs à la chlorose proprement dite et aux questions annexes (altérations trophiques et colorations diverses des feuilles).

CHAPITRE DEUXIÈME

REVUE HISTORIQUE DES PRINCIPAUX TRAVAUX RELATIFS A LA CHLOROSE

ET AUX DIVERSES ALTÉRATIONS ET COLORATIONS DYSTROPHIQUES DES FEUILLES

395-1 1791 Jean Senebier. — *Physiologie végétale* (*in : Encyclopédie méthodique;* Paris, 1791, article : *Couleur des plantes* ; et édit. suiv.).

396-2 1794 Josephi Jacobi Plenck. — *Physiologia et Pathologia Plantarum* (Viennœ, 1794). P. 142, Classis IV, *Cachexiæ* :

Cachexiæ

- Chlorosis
  - Chl. a lucis defectu.
  - Chl. cerealium ab insectis.
- *Icterus*
  - Ict. a frigore autumnali.
  - Ict. a suffocatione incrementi.
- *Anasarca*
  - An. ab anni tempestate nimis diu pluviosa.
  - An. a rigatione nimia.
- *Maculæ*
  - Mac. solares.
  - Mac. ab insectis.
- *Phthiriasis*
  - Pht. plantarum sanarum.
  - Pht. plantarum morbosarum.
  - Pht. coccionellata.
- *Verminatio.*
- *Tabes*
  - T. a solo nimis sterili.
  - T. a climate adverso.
  - T. *a solo incongruo* (Excès de calcaire? etc.).
  - T. a transplantatione inepta.
  - T. a vulnere profundo trunci.
  - T. ab erosione ulcerosa radicis.
  - T. a defoliatione æstiva.
  - T. a nimia florescentia.
  - T. a plantis parasiticis.
  - T. a suffocatione incrementi.
  - T. a morbo.

397-3 1796 *Handbuch z. Heilkunde d. vorzüglischten u. gefahrlichsten Pflanzenkrankheiten* (Leipzig, 1796).

398-4 1804 De Saussure. — *Recherches chimiques sur la végétation* (Paris, 1804). Il est le premier naturaliste qui se soit occupé de l'assimilation des feuilles rouges.

399-5 1828 Macaire Princeps. — *Sur la coloration automnale* (*Soc. de phys. de Genève*, vol. IV).

400-6 1830 De Schlechtendal. — (*Linnœa*, t. V, 1830, p. 494). A publié la liste des principaux végétaux susceptibles de se panacher.

401-7 1832 De Candolle. – *Physiologie végétale* (Paris, 1832).

402-8 1838 Hugo von Mohl. — *Rech. anatom. sur la chlorophylle* (1) et *Rech. sur la coloration hibernale des feuilles* (*Ann. sc. nat.*, 2e sér., t. IX, trad. par Buchinger).

403-9 1839 A.-G. Wiegmann. — *Die Krankheiten u. krankhaften Missbildungen der Gewachse* (Braunswig, 1839).

404-10 1841 A. Moquin-Tandon. — *Éléments de tératologie végétale* ou Histoire abrégée des anomalies de l'organisation des végétaux (Paris, 1841). Décrit vaguement l'albinisme, le chromisme, les altérations de coloration, mais ne parle pas de la chlorose.

405-11 F.-J.-F. Meyen. — *Pflanze-pathologie-Lehre von dem Kranken Leben und Bilden der Pflanzen* (Berlin, 1841).

406-12 1843 Eusèbe Gris. — *De l'action des composés ferrugineux sur la végétation* (Paris, 1843). Rapporte le jaunissement foliaire à l'altération de la chlo-

(1) Nous avons passé volontairement sous silence toute la littérature si considérable relative à la chlorophylle. Nous n'avons signalé que quelques-uns des travaux qui nous intéressent plus spécialement.

rophylle et préconise le traitement par les sels de fer.

407-13 1845 HUGO VON MOHL. — *Vermischte Schriften* (Tübingen, 1845). Étudie les colorations automnales.

408-14 1850? TOLLARD. — *Maladies des végétaux* (1 vol.).

409-15 1851 PRINCE DE SALM-HORSTMAR. — *Rech. sur la végétation de l'Avoine*, etc. (Ann. de chimie et de phys., 3e série, t. XXXII, p. 460). Montre que dans les sols sans fer, les plantes deviennent chlorotiques.

410-16 LOMBARD. — *Maladies des végétaux* (1 vol.).

411-17 VERDEIL. — *Rech. sur la mat. colorante verte des plantes et sur la mat. col. rouge du sang* (C. R. Acad. Sc., 1851). L'auteur affirme que la chlorophylle renferme du fer.

412-18 1854 L. WECK. — *Beitrage zur Pflanzenpathologie* (Bonn, 1854).

413-19 1857 ARTHUR GRIS. — *Rech. microscopiques sur la chlorophylle* (Thèse : *Ann. sc. nat. botan.*, 4e sér., t. VII). Complète et précise les recherches de son père. C'est le premier travail complet que nous possédions sur la chlorophylle dans les plantes normales, étiolées ou chlorosées.

414-20 H.-C.-F. HAMEL. — *Traité sur les maladies des plantes alimentaires* (1857).

415-21 F. WILLERMOZ. — *Instructions familières sur l'horticulture* (1857). Traite de la jaunisse et n'accorde qu'une faible créance à l'action du sulfate de fer.

416-22 1858 ED. MORREN. — *Dissertation inaugurale sur les feuilles vertes et colorées* (Gand, 1858). Établit l'indépendance complète de l'érythrophylle et de la chlorophylle.

417-23 ED. MORREN. — *Sur les feuilles vertes et colorées et sur la chlorophylle* (Gand, 1858).

418-24 1859 J. Kühn. — *Die Krankheiten der Kulturgewachse, ihre Ursachen u. ihre Verhütung* (Berlin, 1859).

419-25 1862 Arthur Gris. — *De l'application des sels de fer à la végétation* (1862).

420-26 Morren, etc. — Nombreux mémoires sur les plantes panachées, etc., dans la *Belgique horticole* (Gand, 1851-1862).

421-27 1864 Ed. André. — *Plantes de terre de bruyère* (1864).

422-28 1865 Julius Sachs. — *Arbeiten d. bot. Instit. in Würtzburg* (vol. III). Montre que les végétaux qui se développent dans un milieu privé de fer se chlorosent et périssent.

423-29 Ed. Morren. — *Hérédité de la panachure* (Bruxelles, 1865).

424-30 1867 A. Ammann. — *Die Pflanzenkrankheiten* (Stuttgard, 1867).

425-31 1868 Lowe et Howard. — *Les plantes à feuillage coloré* (1865-1868, avec 120 pl. color.).

426-32 E. Hallier. — *Phytopathologie. Die Krankheiten der Kulturgewachse* (Leipzig, 1868).

427-33 Ed. Morren. — *Seconde notice sur la duplication des fleurs et la panachure du feuillage* (Gand, 1868). Nomme *argyrescence* la panachure argentée produite par l'intercalation d'air entre l'épiderme et le mésophylle.

428-34 Julius Sachs. — *Physiologie végétale ; recherches sur les conditions d'existence des plantes d'après le jeu de leurs organes* (Trad. par Marc Micheli. Genève-Paris, 1868). S'étend longuement sur la chlorophylle et ses modifications, sur les colorations automnales, etc.

429-35 J. Decaisne. — *In* : *Revue horticole*, 1868. Vérifie l'action du sulfate de fer dans la chlorose. Cette action a été étudiée après lui par de très nombreux expérimentateurs et praticiens.

430-36 1869 Ed. Morren. — *Contagion de la panachure (variegatio)* (Bruxelles, 1869).

431-37 G. Kraus. — *Die Ursachen der Formveranderungen etiolirender Pflanzen* (Iéna, 1869).

432-38 M.-T. Masters. — *Vegetable teratology* (London, 1869, trad. en allemand, Leipzig. 1886).

433-39 1872 G. Kraus. — *Zur Kenntniss der Chlorophyllfarbstoffe u. ihrer Verwandten* (Stuttgard, 1872).

434-40 G. Kraus. — *Einige Beobachtungen über die winterliche Farbung immergrüner Gewachse (Sitzung. d. phys. med. Soc. z. Erlangen,* décembre 1871 et janvier 1872). Étudie le rougissement automnal des feuilles.

435-41 1874 Boussingault. — *Agronomie* (t. V, 1874). Affirme la présence du fer dans la chlorophylle; montre que les feuilles chlorosées ou non contiennent des quantités de fer à peu près égales.

436-42 P. Sorauer. — *Handbuch der Pflanzenkrankheiten* (Berlin, 1874).

437-43 J. Chautard. — *Rech. sur le spectre de la chlorophylle* (Paris, 1874).

438-44 N. Pringsheim. — *U. die Absorbtionsspectra d. Chlorophyllfarbstoffe* (Berlin, 1874), et nombreux autres travaux.

439-45 1876 Ch. Contejean. — *De l'influence du terrain sur la végétation* (*Ann. sc. nat. botan.*, 1874, et 2e mémoire, 1876). Parle de plantes chlorosées dans certains jardins botaniques.

440-46 Church. — *Ann. agronom.* (t. III, p. 630).

441-47 Mer. — *Bull. Soc. botan. de France* (t. XXIII, 1876). Étudie les colorations automnales des feuilles.

442-48 Fliche et Grandeau, dans leurs études sur le Pin maritime et le Châtaignier (1874-1876), constatent que ces arbres sont rabougris et chloro-

sés lorsqu'on les oblige à végéter en sols calcaires.

443-49 1877 H. Church. — *Sur la composition des feuilles vertes et blanches de quelques plantes* (*The Gardener's Chronicle*, novembre 1877).

444-50 Mer. — *Bull. Soc. botan. de France* (t. XXIV, 1877).

445-51 1878 Louis Vialla. — *Des Vignes américaines et des terrains qui leur conviennent* (*Messager agricole*, 1878). Constate, après enquête, que partout les terres silico-ferrugineuses sont indemnes de chlorose.

446-52 A. d'Arbois de Jubainville et J. Vesque. — *Les maladies des plantes cultivées et des arbres forestiers et fruitiers* (Paris, 1878). Distinguent la chlorose de l'ictère ou jaunisse.

447-53 1879 T.-L. Phipson. — *Note sur la palmelline* (C. R. Ac. Sc., 1879).

448-54 1880 Viviand-Morel. — *De la chlorose chez les plantes* (*Lyon horticole*, 1880, p. 162).

449-55 B. Chauzit. — *Rech. chimiques sur quelques terrains où l'on a planté la Vigne américaine* (*Messager agricole*, 1880).

450-56 Déjardin montre que dans la production de la chlorose, le rôle essentiel est joué par les propriétés chimiques du sol; les propriétés physiques interviennent peu.

451-57 Verneuil signale l'échec et la chlorose des plants américains dans les calcaires blancs et tendres des Charentes.

452-58 1881 Millardet. – *Adaptation au climat et au sol* (*Journ. d'agric. prat.*, 1881).

453-59 Audoynaud. — *Adaptation au sol des cépages américains* (*Journ. d'agric. prat.*, 1881, t. II, p. 302).

454-60 1882 A. ANDRÉ. — *Les parasites et les maladies de la Vigne* (1882).

455-61 J.-E. PLANCHON. — *Le Cottis ou pousse en ortille, maladie des sarments de la Vigne* (*Vigne américaine*, 1882, p. 232).

456-62 JOULIE. — Divers articles sur les cendres de plantes chlorotiques et sur le rôle attribué au fer.

457-63 G. FOEX. — *Sur les causes de la chlorose chez l'Herbemont* (*Revue des sc. naturelles de Montpellier* et *Messager agricole*, 1881-82).

458-64 1883 ENGELMANN. — *Couleur et assimilation* (*Ann. sc. nat. botan.*, 6e série, t. XV, 1883. p. 361).

459-65 Dr W. DETMER. — *Lehrbuch der Pflanzenphysiologie* (Berlin, 1883). Cet excellent ouvrage contient la liste des travaux principaux concernant la chlorose et les sels de fer.

460-66 A.-F.-W. SCHIMPER. — *Ueber die Entwickelung der Chlorophyllkorner und Farbkorper* (Leipzig, 1883).

461-67 J. VESQUE. — (*Ann. agronom.*, t. IX, p. 497). Donne les caractères de l'étiolement.

462-68 MER. — (*Bull. Soc. bot. de France*, 1883, p. 110). Donne les caractères des feuilles étiolées.

463-69 Dr GRIFFITHS. — Prouve expérimentalement que le sulfate de fer augmente la proportion de chlorophylle dans les feuilles chlorosées.

464-70 1884 G. BONNIER et L. MANGIN. — *Respiration des tissus sans chlorophylle* (*Ann. sc. nat. bot.*, 6e sér., t. XVIII, p. 293).

465-71 VIVIAND-MOREL. — *La chlorose et le sulfate de fer* (*Lyon horticole*, 1884).

466-72 1885 FÉLIX SAHUT. — *De l'adaptation au sol dans la question des Vignes américaines* (Montpellier, 1885).

467-73 TIMIRJAZEFF. — *Etat actuel de nos connaissances sur*

la fonction chlorophyllienne (*Ann. sc. nat. bot.*, 7e sér., t. II, 1885, p. 99).

468-74 1886 Ad. Chatin. — (*Bull. Soc. bot. de France*, 2e sér., t. VIII, 1886, p. 343). Essaie d'expliquer le reverdissement des plantes chlorotiques sous l'action du sulfate de fer.

469-75 Félix Sahut. — *La jaunisse ou chlorose des Vignes* (*Messager agricole*, 1886).

470-76 *Congrès national viticole de Bordeaux* (Voir aussi les Congrès ultérieurs de Montpellier, Beaune, Lyon, etc.). Nombreux articles, communiqués, etc., sur la chlorose ou jaunisse des Vignes (dans les Comptes rendus *in-extenso*).

471-77 D. Vialetttes. – Étudie les terrains chlorosants du Roussillon et de l'Hérault.

472-78 Hassack. – *Untersuchungen über den anatomischen Bau bunter Laubblatter*, etc. (*Botan. Centralbl.*, 1886).

473-79 Dr Despetis. — *Congrès de Bordeaux*. Avec plusieurs viticulteurs et agronomes, le Dr Despetis a émis, aux séances de ce Congrès, des opinions diverses sur les causes de la chlorose.

474-80 Rougier, dans le *Progrès agricole*, étudie la chlorose développée en Ardèche sur les terrains gréseux non calcaires, mais argileux et humides.

475-81 Félix Sahut. — *De l'adaptation au sol des Vignes américaines* (*Congrès de Bordeaux*, 1886).

476-82 1886-89 L. Portes et F. Ruyssen. — *Traité de la Vigne et de ses produits* (3 vol.).

477-83 1887 A. Jeanjean. – *La géologie appliquée à la culture de la Vigne dans le département du Gard* (Montpellier, 1887).

478-84 D. Clos. — *Panachure et coloration des feuilles* (1887).

479-85 1887 DESPETIS rapporte la chlorose à un excès d'humidité du sol, et G. FOEX à l'échauffement tardif du sol au printemps.

480-86 BRISSET et BRINGUIER rapportent la chlorose à une altération de la chlorophylle par excès d'humidité et d'alcalinité du sol.

481-87 H. CHURCH. — *Rech. chimiques sur l'albinisme des plantes* (*Journal of the Chem. Society*, t. XLIV, p. 839 ; *Biedermann's Centralbl.*, t. XVI, p. 429 ; analysé *in Ann. agronom.*, t. XIII, p. 379).

482-88 TH.-W. ENGELMANN. — *La couleur des feuilles colorées autrement qu'en vert et sa signification dans l'assimilation du carbone* (*Bot. Zeit.*, 1887 ; analysé *in Ann. agronom.*, t. XIII, p. 477).

483-89 AUG. BOYÉ. — *La chlorose et les maladies asthéniques de la Vigne* (*Gazette agricole*, 1887-88).

484-90 1888 K. LIBANK.— *Traitement de la chlorose* (*Lyon horticole*, 1888, p. 146).

485-91 G. COUDERC. — *Chlorose* (Conférence de Mâcon, *in Progrès agricole*, 1888).

486-92 JULIUS SACHS. — *Sur le traitement des plantes chlorotiques* (résumé *in Ann. agronom.*, t. XV, p. 568).

487-93 EMILE PETIT. — *La chlorose, recherche de ses causes et de ses remèdes* (Bordeaux, 1888).

488-94 FÉLIX SAHUT.— *Adaptation des Vignes américaines au sol et au climat* (Montpellier-Toulouse, 1888).

489-95 M. COURCHET. — *Rech. sur les chromoleucites* (Paris, 1888).

490-96 ENGELMANN. — *Les couleurs non vertes des feuilles et leur signification pour la décomposition de l'acide carbonique sous l'influence de la lumière* (*Arch. néerlandaises*, t. XXII, 1888).

491-97 PAUL NARBONNE.— *La chlorose des Vignes, préservation et traitement* (Narbonne, 1888).

492-98 1889 E. Belzung.— *La chlorophylle et ses fonctions* (Paris, 1889).

493-99 P. Viala. — *Une mission vilicole en Amérique* (Montpellier, 1889).

494-100 Max Tord.— *Rech. sur le traitement des Vignes chlorotiques* (*Bull. du Comité de la Charente-Inférieure*, 1889).

495-101 Joulie.— *Sur la chlorose de la Vigne* (*Journal d'agriculture pratique*, 1889).

496-102 Timirjazeff. — *La protophylline des feuilles étiolées* (*C. R. Ac. Sc.*, septembre 1889).

497-103 P. Viala et L. Ravaz.— *Les Vignes américaines, adaptation, culture,* etc. (Montpellier, 1889, et édit. suiv.).

498-104 Dubourg.— *Recherches sur les causes de la chlorose de la Vigne* (1889).

499-105 B. Chauzit. — *Etude sur l'adaptation au sol des Vignes américaines* (1889).

500-106 J. Sachs. — *Erfahrungen über die Behandlung chlorotischer Gartenpflanzen* (*Arbeiten des bot. Inst. in Würzburg*. Bd. III, p. 433).

501-107 R. Dezeimeris. — *D'une cause de dépérissement de la Vigne* (Bordeaux, 1889).

502-108 Bouchard.— *La chlorose de la Vigne.*

503-109 1890 P. Lesage. — *Influence du bord de la mer sur la structure des feuilles* (Thèse, Paris-Rennes, 1890, et *C. R. Ac. Sc.*). Signale la teinte pâle et chlorotique de certaines espèces sous l'action du sel marin.

504-110 Georges Ville. — *Rech. sur les relations qui existent entre la couleur des plantes et la richesse des terres* (*Revue scientifique*, 1890).

505-111 Jules Bel. — *Les maladies de la Vigne et les meilleurs cépages français et américains* (Paris, 1890).

506-112 MARGUERITE-DELACHARLONNY.—*Essai de classification des diverses chloroses et leurs remèdes* (*Assoc. franç. pour l'avancement des Sciences*, Limoges, 1890, t. I, p. 284, et t. II, p. 871).

507-113 P. VIALA. — *Mission viticole pour la reconstitution des vignobles du département de Maine-et-Loire* (Angers, 1890).

508-114 JOULIE. — Divers, *in Bull. Soc. d'agricult. de Vaucluse* (1887 à 1890).

509-115 G. FOEX. — *Marche de la chlorose des Vignes américaines de 1884 à 1890* (*Ann. de l'Ecole d'agriculture de Montpellier*, t. VI).

510-116 FÉLIX SAHUT. — *La jaunisse ou chlorose des Vignes* (Montpellier, 1890).

511-117 PROSPER DE LAFITTE. — *Sur les causes de la chlorose chez l'Herbemont* (quatre ans de luttes pour nos Vignes et nos vins, 1890).

512-118 A ZIMMERMANN. — *Ueber die chromatophoren in panachierten Blättern* (*Ber. d. deut. Bot. Gesell.*, avril 1890).

513-119 G. COUDERC. — *Chlorose* (*Conférence de Chambéry, Progrès agricole*, 1890).

514-120 PAUL SERRES. — *La Vigne et ses parasites; le phylloxera, la chlorose* (3e édit. Paris, 1890, et édit. antér. de 1883 et 1885).

515-121 1890 ?SORAUER. — *Handbuch der Pflanzenkrankheiten.*

516-122 1890 L. MACCHIATI. — *Sulle sostanze coloranti gialle a rosse delle foglie* (*Atti della Società dei naturalisti die Modena*, 1890).

517-123 1891 HARTIG. — *Traité des maladies des arbres* (Paris, 1891).

518-124 P. VIALA. — *La reconstitution des vignobles de la Côte-d'Or* (Beaune, 1891).

519-125 1891 P. Viala. — *La reconstitution des vignobles de la Loire-Inférieure* (Nantes, 1891).

520-126 Cazeaux-Cazalet. — Divers, *in Bull. du Comice de Cadillac* (1886 à 1891).

521-127 G. Coutagne. — *De l'influence du calcaire sur les Vignes américaines* (A. F. A. S., Marseille, 1891, t. I, p. 340, t. II, p. 853).

522-128 L. Ravaz.—*Les Vignes américaines dans les terrains calcaires* (*Progrès agricole*, mars 1891).

523-129 B. Pons. — *La chlorose et son traitement* (1 broch., Béziers, 1891).

524-130 Palladine. — *L'eau contenue dans les feuilles vertes et les feuilles étiolées* (*Travaux de la Soc. des naturalistes de Charkow*, t. XXV ; analysé *in : Ann. agronom.*, t. XVII, p. 384).

525-131 W. Palladine. — *Ergrünen und Wachsthum der etiolirten Blätter* (*Berichte der deutschen botanischer Gesellschaft*, t. IX, 1891, p. 229).

526-132 Petiot.— *Les Vignes américaines dans la Côte Châlonnaise* (*Congrès de Beaune*, 1891).

527-133 G. Couderc. — *Chlorose* (Conférence de Beaune, *Progrès agricole*, 1891).

528-134 Viviand-Morel. — *Sur la chlorose* (*Lyon horticole*, 1891, p. 322).

529-135 L. Degrully. — *La chlorose de la Vigne* (*Progrès agricole*, juin 1891).

530-136 Linossier. — *Sur une hématine végétale* (C. R. Ac. Sc., 2 mars 1891).

531-137 Th.-L. Phipson. — *Sur l'hématine végétale* (C. R. Ac. Sc., 31 mars 1891).

532-138 E. Belzung.— *Remarques sur le verdissement* (*Journal de botanique*, 1891).

533-139 1892 H. Boiret et G. Paturel. — *Rech. sur l'emploi*

du sulfate de fer (*Ann. agronom.*, t. XVIII, 1892, p. 417).

534-140 1892 A.-P. DANGEARD.— *Les maladies du Pommier et du Poirier* (Poitiers, 1892).

535-141 A. BERNARD. — *Rôle du fer en sol calcaire* (*Progrès agricole*, juillet-août 1892).

536-142 A. BERNARD. — *Mesure et rôle du calcaire* (Vigne américaine, 1892).

537-143 A. BERNARD. — *Le calcaire, sa détermination et son rôle* (1 vol., Màcon, 1892).

538-144 G. COUTAGNE. — *Sur la chlorose ou l'infécondité des Vignes calcifuges plantées en terrain calcaire* (*Progrès agricole*, 27 mai 1892).

539-145 VIVIAND-MOREL.— *Chlorose des arbres* (*Lyon horticole*, 1892, p. 22).

540-146 CASTEL. — *Essais de plants en sols calcaires* (*Progrès agricole*, 1892, p. 606).

541-147 CAZEAUX-CAZALET. — *Note sur les causes de la chlorose de la Vigne et sur les moyens de prévenir et de traiter cette affection* (Bordeaux, 1892).

542-148 AUDOYNAUD. — *A propos de la chlorose* (*Progrès agricole*, 20 mars 1892).

543-149 L. ROOS.— *Chlorose de la Vigne* (*Bull. Soc. d'agricult., d'hort. et d'acclimatation du Var*, 1892).

544-150 JOULIE.— *Le calcaire, le plâtre et les Vignes américaines* (*Journal de l'agriculture*, 1892).

545-151 B. CHAUZIT. — *Les Vignes américaines en terrains gypseux* (*Ann. agronom.*, t. XVIII, p. 496).

546-152 L. RAVAZ. — *Rapports à M. le Président du Comité de viticulture de Cognac* (Cognac, 1889 à 1892).

547-153 G. COUTAGNE. — *Le sulfate de fer et la chlorose* (*Progrès agricole*, 1892).

548-154 1893 RUMM. — *Ueber die Wirkung der Kupferpreparate*

bei Bekampfung der sogenannten Blattfallkrankheit der Weinrebe (*Berichte d. deutsch. Gesell.*, t. XI, 1893).

549-155 1893 *Comptes rendus du Congrès agricole de Montpellier* (1893). Nombreux articles sur la chlorose et sur la résistance au calcaire des divers cépages.

550-156 Prosper Gervais. — *Un champ d'essai en sol calcaire* (*Progrès agricole*, 1893, t. II, p. 364).

551-157 Lagatu et Semichon. — *La chlorose dans le terrain pliocène de l'Hérault* (*Progrès agricole*, 1893, t. I et II).

552-158 Georges Coutagne. — Adaptation (*Progrès agricole*, juin 1893).

553-159 Viviand-Morel. — *La chlorose dans les terrains calcaires* (*Lyon horticole*, 1893, p. 104).

554-160 A. Bernard. — *Notes sur quelques terres types de la Charente-Inférieure* (*Progrès agricole*, 1893, t. II, p. 462).

555-161 E. Missol. — *La chlorose calcaire et la bouillie verte* (*Bull. Un. du S.-E. des Synd. agr.*, 15 octobre 1893).

556-162 A. Zimmermann. — *Beitrage zur Morphologie und Physiologie der Pflanzenzelle* (Tübingen, 1893) ; chap. I, paragr. 3 : *Ueber die Chromatophoren in chlorotischen Blattern*, etc.

557-163 P. Viala. — *Les maladies de la Vigne* (3e édit., Montpellier, 1893). Le chapitre de la chlorose résume toutes les notions acquises jusqu'alors sur cette affection chez la Vigne.

558-164 1894 F. Houdaille et L. Semichon. — *Etude de l'état physique du calcaire considéré comme cause déterminante de la chlorose* (*Revue de viticulture*, avril et mai 1894 ; conclusions générales, 13 octobre 1894).

559-165 1894 E. Sirodot. — *Maladies des arbres fruitiers* (Paris, 1894).

560-166 Georges Ville. — *L'analyse de la terre par les plantes* (Paris, Imprim. nation., 1894). Décrit les variations de la couleur verte des feuilles selon les engrais apportés.

561-167 E. Missol. — *La chlorose calcaire et les plants indemnes, d'après le Congrès de Montpellier* (*Bull. Un. du S.-E. des Synd. agr.*, 15 janv. 1894).

562-168 B. Chauzit. — *Rôle de l'argile dans l'adaptation au sol des plants américains* (*Revue de Viticulture*, 27 janv. 1894).

563-169 Monteverde. — *Ueber das Protochlorophyll* (*Acta horti Petropolitani*, 1894).

564-170 Houdaille et Mazade. — *Chlorose et humidité en sol calcaire* (*Revue de viticulture*, 28 juillet 1894).

565-171 L. Degrully et G. Gastine. — *Action du sulfate de fer sur la chlorose de la Vigne* (*Progrès agricole*, décembre 1894; et *Journ. d'agricult. prat.*, 1894, 2e semestre, p. 799).

566-172 1895 Viviand-Morel. — 1° *A propos des plantes calcifuges* (*Lyon horticole*, 1895, p. 247).

567-173 2° *Le calcaire, c'est l'ennemi!* (*Lyon horticole*, 1895, p. 101).

568-174 3° *La chlorose en viticulture* (*Lyon horticole*, 1895, p. 50).

569-175 Berlese. — *Rivista di pathologia vegetale* dir. da A. N. ed Ant. Berlese (Padova, 1892-1895).

570-176 Metgé. — *Note sur la chlorose* (*Bull. Soc. des Agriculteurs de France*, 1895).

571-177 De Saporta. — *Nouveau procédé pratique de dosage du calcaire dans les terres arables*, décrit par G. Gouirand (*Revue de viticulture*, 1895, février-mars).

572-178 1895 VIVIAND-MOREL. — *Les variétés de coloration en horticulture* et *Nomenclature des principales couleurs* (*Journal de la Soc. nat. d'horticulture de France*, 1895).

573-179 J. CROCHETELLE. — *Étude chimique sur la chlorose du Poirier* (J. de la Soc. nat. d'hort. de France, 1895).

574-180 J.-M. GUILLON. — *Expériences sur le traitement de la chlorose* (*Rev. de vitic.*, 1895).

575-181 A. MÜNTZ. — *Les Vignes, rech. expérimentales sur leur culture et leur exploitation* (Paris, 1895).

576-182 P. COSTE-FLORET. — *Notes sur la chlorose* (*Progrès agricole*, novembre, 1895).

577-183 J. CROCHETELLE. — *Du rôle de la chlorophylle dans les plantes et les remèdes à apporter à la chlorose* (Congrès horticole, 1895).

578-184 1896 VIVIAND-MOREL. — *Chlorose constitutionnelle et chloroses endémiques* (Lyon horticole, 1896).

579-185 J.-M. GUILLON. — *Expériences sur le traitement de la chlorose* (*Revue de viticulture*, 1896).

580-186 PROSPER GERVAIS. — *La reconstitution des terrains calcaires* (1 broch. 150 p., 1895; et *Progrès agricole*, mars 1896).

581-187 L. DEGRULLY. — *Les plants américains en sols calcaires*, 1896).

582-188 VIVIAND-MOREL. *Traitement de la chlorose* (Lyon horticole, 1896, p. 110).

583-189 RIGAUX. — *Étude sur les cépages américains* (*Bull. de la Soc. nationale d'agriculture de France*, 1896).

584-190 ETARD. — *Le spectre des chlorophylles* (*C. R. Acad. Sc.*, t. CXXIII, p. 824-828, 1896).

585-191 1897 F. HOUDAILLE. — *La chlorose et le pouvoir chlorosant des sols calcaires* (*Revue de viticulture*, mars, 1897).

586-192 1897 G. Foëx. — *La reconstitution dans les terrains calcaires* (*Progrès agricole*, octobre 1897).

587-193 Paul Nypels. — *Notes pathologiques ; feuilles de Betteraves chlorotiques* (*Bull. Soc. roy. de botan. de Belgique*, 1897, p. 183).

588-194 1898 L. Ravaz.— *Reconstitution du vignoble* (1 vol. 1898).

589-195 Prosper Gervais. — *La reconstitution des terrains calcaires* (*Progrès agricole*, octobre 1898).

590-196 Prosper Gervais. — *Adaptation et reconstitution des terrains calcaires* (1 vol.).

591-197 F. Houdaille. — *Détermination du pouvoir chlorosant*, etc. (*Progrès agricole*, juillet 1898).

592-198 R. Gavoty. — *Les terrains chlorosants* (*Progrès agricole*, mai 1898).

593-199 Etard. — *Les Chlorophylles* (*Ann. de chimie et de physique*, 7e série, t. XIII, 1898).

594-200 P. Coste-Floret. — *Influence des engrais sur les maladies et accidents de végétation de la Vigne* (*Progrès agricole*, mars 1898).

595-201 Viviand-Morel. — *La botanique aidant la chimie dans l'analyse du sol* (*Lyon horticole*, janv. 1898).

596-202 O. Loew. — *Ueber die physiologischen Functionen der Calciumsalze* (*Bot. Centr.*, t. LXXIV).

597-203 Prillieux et Delacroix. — *La jaunisse, maladie bactérienne de la betterave* (*C. R. Acad. Sc.*, t. CXXVII, p. 338).

598-204 1899 Prosper Gervais. — *Reconstitution des Vignobles en terrains calcaires* (*Progrès agricole*, mars 1899).

599-205 E. Griffon. — *Relations entre l'intensité de la coloration verte des feuilles et l'assimilation chlorophyllienne* (C. R. Ac. Sc., 23 janvier 1899).

600-206 L. Roussel. — *Chlorose et sulfate de fer* (*Bull. de l'Union du S.-E. des Syndicats agricoles*, février 1899).

601-207 1899 J.-A. Cl. Roux.— *Végétation défectueuse et chlorose des plantes silicicoles en sols calcaires* (*Annales de la Soc. Linnéenne de Lyon,* t. XLVI, 1899, et procès-verbaux, publiés dans la *Revue Linnéenne*, *l'Echange*, des séances des 10 et 24 juillet 1899). Dans cette note, l'auteur expose le résultat de ses cultures expérimentales : il a observé chez les plantes silicicoles cultivées en sols calcaires l'apparition de chloroses de plus en plus prononcées selon la teneur du sol en calcaire. Il attribue enfin un rôle probable dans la production de certains cas de chlorose partielle à des microorganismes qu'il a observés dans les tissus foliaires.

602-208 E. Overton. — *Experiments on the autumn Colouring of plants* (*Nature,* 26 janvier 1899).

603-209 Ed. Griffon. — *L'assimilation chlorophyllienne et la coloration des plantes* (*Ann. des sc. nat. botan.*, 8e série, t. X, Nos 1 et 2, septembre 1899). Dans ce très intéressant mémoire, l'auteur étudie les rapports de l'assimilation chlorophyllienne et de la respiration chez les plantes vertes et colorées diversement, en particulier chez les plantes panachées et chlorosées.

604-210 J.-M. Guillon. — *La chlorose et la qualité des greffes* (*Revue de viticulture*, juin 1899, p. 640).

605-211 L. Degrully. — *Le traitement de la chlorose par la chaux* (*Progrès agricole*, août 1899).

606-212 *Zeitschrift fur Pflanzenkrankheiten* (nombreux travaux sur les maladies des plantes, 1899 et années antérieures).

607-213 Tsvett. — *Sur la constitution de la matière colorante des feuilles. La chloroglobine* (*C. R. Acad. Sc.*, 16 octobre 1899).

608-214 Paul Gauchery. — *Recherches sur le nanisme végétal* (*Ann. sc. nat. bot.*, 1899, t. IX). Travail con-

tenant de nombreuses indications bibliographiques.

609-215 1899 ETARD. — *Chlorophylles et Pholorophylles de Fougères* (*Ann. Instit. Pasteur*, mai 1899).

610-216 A. GASSER et R. MAIRE. — *De l'influence du calcaire sur la végétation et de la valeur de l'analyse calcimétrique des terres*, 1899. Cette note contient quelques brefs renseignements sur la chlorose.

Appendice (1)

611-217 ? MEYEN. — *Pflanzenpathologie*, p. 266, 288, etc. Indications sur la transmission de la panachure par le greffage.

612-218 1869 KNOP. — *Berichte d. kgl. sachs. Ges. d. Wissensch.*, p. 359.

613-219 1871 BOUCHÉ. — *Sitzungsber. d. Ges. naturforsch. freunde zu Berlin*, 1871.

614-220 1872 SCHULZE. — *Centralbl. f. Agrikulturchemie*, 1872, p. 99. Analyses de feuilles vertes et jaunes.

615-221 1876 CARRIÈRE. — *Revue horticole*, 1876, p. 8.

616-222 SCHŒLL. — *Botan. Jahresber., für* 1876, p. 926.

617-223 BOUCHÉ. — *Sitzungsber. d. Ges. naturforsch. freunde zu Berlin ;* et *Bot. Zeit.* 1876, p. 37. Expériences sur la transmission de la panachure.

---

(1) Travaux divers ou non datés, ajoutés pendant l'impression. On trouvera aussi d'autres travaux dans la liste complémentaire insérée aux *Addenda*, à la fin de notre mémoire. En outre, de nombreuses indications bibliographiques de détail, que nous n'avons pas reproduites ici pour ne pas allonger outre mesure notre historique, se trouvent dans divers ouvrages, tels que le *Lehrbuch die Krankheiten der Pflanzen* de FRANK, le *Lehrbuch d. Pflanzenphysiologie* de DETMER, etc., etc.

618-224 1877 Kürmann. — *Ueber die Gelbsucht der Reben* (*Centralbl. f. Agrikulturchemie*, 1877, p. 58).

619-225 1878 Von Lindemuth.— *Landwirtsch. Jarhrb.*, 1878, *heft* 6. Renseignements sur la transmission de la panachure.

620-226 1879 Rotondi et Galimberti. — *Centralbl. f. Agrikulturchemie*, 1879, p. 876. Analyses de feuilles vertes et jaunes.

621-227 1886 J. Sachs — *Naturwiss. Rundschau*, I, 1886, p. 257.

622-228 1890 E.-F. Smith et Burrill.– *Report of the chief of the Section of vegetable Pathology for the year*, 1890. Étudient la maladie des Pêchers et Poiriers d'Amérique.

623-229 Maynard. — *Experiment Station Record.*, II, 3. Washington, octobre 1890.

624-230 1891 E.-F. Smith. — *U. S. Department of agric. Division of veget. Pathol.* Washington, 1891.

625-231 1896 Dr A.-B. Frank. — *Die Krankeiten der Pflanzen* (3 vol. Breslau, 1896). Traité des maladies des plantes à l'usage des forestiers, agriculteurs, jardiniers, amis des jardins et botanistes. Dans les t. I et III, Frank étudie la chlorose (bleichsucht), l'ictère (gelbsucht), la panachure (panachierung), etc., mais surtout chez les plantes cultivées.

626-232 (s. d.) Fuckel. — *Symbolæ mycologicæ*, p. 359. A cru trouver dans un champignon saprophyte, le *Spicularia icterus*, la cause de la chlorose des Vignes des vignobles du Rhin et de l'Allemagne.

627-233 1898 L. Ravaz. — *Les nouveaux cépages : résistance phylloxérique et adaptation* (*Progrès agricole*, 1898). Dans cette intéressante note, L. Ravaz indique les meilleurs procédés pour la sélection en vue de l'adaptation au sol et donne une liste des cépages classés selon leur résistance à la chlorose.

Nous n'avons indiqué, dans cette revue historique, que les travaux les plus importants et ceux qui se rattachent le plus étroitement aux sujets que nous traitons dans ce mémoire.

Nous avons sciemment passé sous silence un certain nombre de notes, articles et brochures qui ne présentent qu'un intérêt purement pratique ou local, et qui ne renferment aucune considération scientifique importante ; de même, nous aurions pu signaler une quantité innombrable de rapports, discours, communications et observations, disséminés dans les Annales, Revues, Bulletins, Journaux et autres publications périodiques d'Agriculture, de Viticulture, d'Horticulture, etc.

CHAPITRE TROISIÈME

LA CHLOROSE DES PLANTES SILICICOLES EN SOLS CALCAIRES

I.— PRINCIPALES OBSERVATIONS ANTÉRIEURES SUR L'INFLUENCE DU CALCAIRE DANS L'ÉTIOLOGIE DE LA CHLOROSE.

Les manifestations chlorotiques sont observées depuis fort longtemps chez les plantes cultivées. On sait qu'il y a des chloroses bénignes et passagères, et des chloroses intenses et chroniques. On sait aussi que ces dernières sont toujours un signe de dépérissement mortel plus ou moins rapide pour le végétal atteint. On sait enfin que les chloroses sont des altérations d'organes aériens, d'origine souterraine. C'est le cas pour les chloroses les plus communes et les plus graves, qui proviennent toutes de propriétés physiques ou chimiques du sol défavorables aux plantes atteintes.

Le calcaire ou carbonate de chaux est, non pas le seul, mais le principal facteur de la chlorose. Ainsi, dans les Charentes et dans la Champagne crayeuse, le sol contient, çà et là, une si forte proportion de calcaire (70 à 95 o/o) que toutes les plantes y jaunissent, calcifuges et calcicoles. Un savant viticulteur, Prosper Gervais, a pu dire fort justement : la chlorose est le « triste apanage des sols calcaires ».

« L'influence délétère de la chaux se trahit constamment, a dit Contejean, à la décoloration des parties vertes. Les progrès de cette décoloration m'ont toujours paru proportionnels à la quantité de calcaire renfermée dans le sol ». Cette assertion

de Contejean n'était basée que sur des observations générales, et non sur des expériences précises.

« Les plantes calcifuges, dit aussi Viviand-Morel (*Lyon horticole*, 1893), montrent leur répulsion pour la chaux en prenant la jaunisse, c'est-à-dire en chlorosant leurs feuilles ».

C'est donc un fait reconnu, mais non encore bien expliqué scientifiquement, que le carbonate de chaux engendre la chlorose non seulement de la Vigne, mais de toutes les plantes plus ou moins calcifuges ; mais le CO^3Ca ne provoque la chlorose que lorsqu'il existe dans la couche de terre où végètent les racines. Il leur est donc nuisible. Les racines *fuient*, ou, ce qui est plus exact, *craignent* le calcaire.

Nous allons résumer brièvement les principales observations sur la chlorose faites : 1° en arboriculture ; 2° en horticulture et cultures diverses ; 3° en viticulture ; 4° sur diverses plantes de la flore spontanée.

1° ARBORICULTURE

Tous les arboriculteurs et pépiniéristes ont signalé l'importance de la composition chimique et de la constitution physique du sol dans l'étiologie de la chlorose des arbres. Le calcaire a été surtout incriminé.

Les observations autorisées de savants tels que A. Mathieu, Ch. Des Moulins, Chatin, Fliche, Grandeau, etc., nous révèlent que depuis longtemps la chlorose des arbres forestiers, sous l'influence du calcaire, a été remarquée.

Ces auteurs, après avoir relaté l'échec général des reboisements entrepris en sols calcaires au moyen d'essences calcifuges, telles que le Pin maritime, ont décrit les principaux caractères de la flavescence et du rabougrissement de ces arbres.

C'est ainsi que Chatin, Fliche et Grandeau ont noté que les rares Pins maritimes, Châtaigniers, etc., qui parviennent à végéter sur le calcaire, ont des feuilles courtes, *jaunes*, persistant seulement, chez le Pin, deux ans au lieu de trois ou quatre, et pauvres en térébenthine.

Tous les arboriculteurs savent que plusieurs arbres fruitiers,

notamment le Cognassier, la plupart des variétés de Poiriers, le Mérisier, etc., se chlorosent en sols calcaires, principalement sur les calcaires tendres et marneux, humides et facilement attaquables.

Un savant praticien lyonnais, Francisque Morel, a signalé aussi des cas de chlorose des arbres d'ornement, bien que, ajoute-t-il, « les végétaux ligneux ne paraissent généralement pas placés au même degré que les plantes herbacées sous la dépendance des propriétés chimiques du sol ».

Nous avons, pour notre part, observé de nombreux cas de chlorose, sous l'influence principale du carbonate de chaux (d'autres causes moins importantes interviennent aussi concurremment), sur divers végétaux arborescents calcifuges, ou presque indifférents même, tels que : Poiriers, Cognassiers, Pêchers, Chênes, Thuyas, *Cephalotaxus*, Erables, Sapin de Douglas, Glycine, Robinier, Aubépine, etc.

2° HORTICULTURE ET CULTURES DIVERSES

Les horticulteurs, de temps immémorial, connaissent fort bien les plantes de floriculture qui, redoutant le calcaire, exigent, sous peine de rabougrissement et de *chlorose*, des composts absolument privés de carbonate de chaux (terre de bruyère notamment). Parmi ces plantes, on peut citer: les Rhododendrons ferrugineux, les Azalées, les Bruyères, les Camélias, les Genêts, de nombreuses Fougères, etc.

Dans ses expériences célèbres, Eusèbe Gris, dès 1840, signalait la chlorose chez une foule de plantes, telles que : *Fabiana imbricata*, *Cineraria*, *Heliotropium peruvianum*, *Lychnis grandiflora*, *Asclepias fruticosa*, *Chrysanthemum indicum*, *Matricaria parthenoïdes*, *Calceolaria*, *Polygala grandiflora*, *Henmieris linearis*, ainsi que sur des Orangers, des Orchidées diverses, etc.

« Il est impossible, disait Contejean, d'installer les plantes calcifuges exclusives dans les jardins établis sur un sol calcaire. Une pelouse du jardin botanique de Poitiers, dont le sol est calcaire, ayant été semée avec des Graminées calcifuges (notamment *Anthoxanthum Puellii*), présentait un aspect lamen-

table. Tous les spécimens d'*Anthoxanthum* se distinguaient à leur aspect chétif ». Sur les plateaux arides de l'Angoumois et du Poitou, dans les tranchées des routes et des chemins de fer, en un mot partout où *Sarothamnus*, *Ulex*, *Erica*, etc., ont été accidentellement introduits au milieu du calcaire, les rares individus qui persistent souffrent et se distinguent immédiatement à leur teinte jaunâtre.

Jules Crevat, Viviand-Morel et beaucoup d'autres praticiens ont remarqué et signalé la chlorose de nombreuses plantes, Lupins, Serradelle, Trigonelle fenu-grec, Pois chiche, Galéga officinal, Lentille d'Auvergne, Seigle, Crételle, Flouve odorante, Spergule, etc., en sols calcaires.

« Dans les jardins, dit Viviand-Morel, si on introduit le calcaire dans les composts destinés à la culture des plantes calcifuges, elles souffrent, jaunissent, finissent par périr. Nous avons vérifié bien souvent ce fait. Les arbustes comme les Genêts, etc., se refusent à croître dans les sols de la Cité, où nous habitons... Dès que le jardinier se trouve en présence d'une vraie calcifuge, il la voit toujours jaunir si le compost dans lequel il l'a rempotée est calcaire ».

Le Dr Magnin a remarqué aussi, dans le jardin de son *Institut Botanique* de Besançon, dont le sol est assez calcaire, de nombreux cas de chlorose sur des plantes calcifuges semées ou transplantées.

Nous-même, soit au jardin de Besançon, soit dans différentes localités calcaires des environs de Lyon, avons observé dans les jardins de nombreuses plantes chlorosées, notamment le Genêt à balai, le Genêt des Anglais, les Spergules, les Ajoncs, les Bruyères, la grande Fougère aigle, la petite Oseille.

A défaut d'expériences précises, ces observations anciennes ou récentes, dont nous aurions pu allonger la liste, suffisent donc, semble-t-il, à démontrer que la chorose est le symptôme et la manifestation des troubles nutritifs causés par le calcaire sur les végétaux calcifuges. Mais voici que la substitution des plants américains aux vignobles indigènes phylloxérés est venue pour ainsi dire transformer la France entière en un vaste champ d'expériences, démonstratif de la chlorose des plantes calcifuges.

3° VITICULTURE

La chlorose avait été observée déjà, bien avant la crise phylloxérique, chez les Vignes françaises, en certaines régions, sous l'influence non seulement du calcaire, mais d'autres causes sur lesquelles nous reviendrons. Les Vignes françaises et en général toutes les variétés de l'ancien continent n'étaient point calcifuges. Pourtant, dans les terrains très calcaires, comme la craie de Champagne et des Charentes, les cépages européens se chlorosaient fort bien ; un petit nombre de plants, comme la *Folle blanche*, y pouvaient seuls subsister. Il n'en est pas de même pour les Vignes américaines.

Ecoutons à ce sujet des voix autorisées :

« Personne aujourd'hui, dit B. Chauzit, ne conteste que le calcaire ne soit la cause principale et souvent même unique de la chlorose des Vignes américaines. Tout le monde est convaincu que c'est le calcaire qui commande l'adaptation ».

« La chlorose, dit aussi P. Viala, ne se déclare jamais que dans les sols calcaires, et elle est d'autant plus intense que la proportion de cet élément est plus élevée. Jamais, pour notre part, nous n'avons vu jaunir la Vigne ailleurs que dans les sols calcaires, et cette observation s'étend à toutes les plantes.... C'est là un point sur lequel nous insistons et qui limite bien les conditions dans lesquelles cette affection se produit toujours ».

« La chlorose, dit L. Ravaz (*Reconstitution du Vignoble*, 1898), est une maladie qui se déclare à peu près exclusivement dans les terrains calcaires. Le carbonate de chaux en est la cause ».

Bien que G. Foex ne paraisse pas très partisan du calcaire comme cause principale de la chlorose des Vignes, il n'a pu s'empêcher d'écrire (1) : « On ne serait pas plus en droit d'exiger d'un plant, parce qu'il est plus résistant qu'un autre aux

(1) *In : Dictionn. d'agriculture* de Barral et Sagnier ; article *Vignes américaines*.

attaques du phylloxera, qu'il vive dans un terrain calcaire, alors qu'un sol siliceux lui est nécessaire, qu'on ne pourrait le faire pour le Châtaignier, le Pin maritime et d'autres plantes qui ne peuvent subsister que dans des milieux déterminés, et on conçoit que des différences très importantes peuvent se produire à ce point de vue ».

« C'est à la *composition du sol*, dit E. Missol, qu'est due la chlorose des Vignes américaines, gros souci pour nombre de viticulteurs et préoccupation pour les savants. Les cépages américains sont calcifuges, c'est-à-dire qu'ils redoutent profondément le calcaire ».

« Dès le début, dit Cazeaux-Cazalet, j'établis en principe que la chlorose n'était possible que dans les sols contenant une dose élevée de calcaire, dans la couche de 50 centimètres d'épaisseur qui doit nourrir à peu près seule la Vigne... La marche de la chlorose dépend aussi du sol, car elle suit la configuration des couches calcaires ».

« L'étude préalable du sol, dit Prosper Gervais, est indispensable ; elle est la base même du problème à résoudre... Un sol peut être peu chlorosant, moyennement chlorosant, très chlorosant, ou extrêmement chlorosant. Le dosage du calcaire à l'aide du calcimètre fournira, à cet égard, de fort utiles indications, mais simplement des indications. Il ne suffira pas à déterminer le pouvoir chlorosant du sol, parce qu'il y a autre chose que cette *teneur absolue pour cent* du sol en calcaire : il y a la *forme*, la *nature*, l'*origine* de ce calcaire qui en marqueront la nocivité ; le degré de saturation du sol, c'est-à-dire la quantité d'humidité qu'il contient, et la connaissance des autres éléments auxquels le calcaire se trouve combiné ou associé qui, dans certains cas, atténueront ou aggraveront cette nocivité. Sans doute le calcaire, ainsi que l'a fait remarquer A. Bernard, n'est pas le seul facteur de la chlorose, mais il en est le principal, et c'est par lui qu'il faut commencer. Il convient ensuite de rechercher et d'étudier les autres influences ».

En se basant sur l'opinion de ces savants praticiens et sur les observations parallèles d'innombrables viticulteurs, les Congrès viticoles, notamment celui de Montpellier en 1893, on a classé les terres en deux catégories : *a*. celles où les Vignes

américaines, quelles qu'elles soient, greffées ou non, ne jaunissent jamais, ce sont les *terres peu ou pas calcaires* ; *b.* celles où les Vignes américaines jaunissent, ce sont les *terres calcaires.*

4° CHLOROSE DES PLANTES DIVERSES SOUS L'ACTION DU CALCAIRE

Fougères. — Un grand nombre de Fougères calcifuges, notamment *Pteris aquilina*, etc., sont chlorosées lorsqu'elles poussent sur le mortier des murs, ou lorsqu'elles reçoivent des apports calcaires par le sol ou par l'eau. Il en est de même pour les Prêles, les Lycopodes et les Sélaginelles, etc.

Les *Mousses*, les Sphaignes, les Hépatiques, sont également sensibles au calcaire, qui peut modifier plus ou moins leur chlorophylle.

Algues. — Des expériences, que nous avons effectuées *grosso modo*, nous ont montré que les Algues vertes d'eau douce, placées dans de l'eau calcaire du Rhône, sont d'un vert moins foncé, moins franc, que dans l'eau de rivière provenant des massifs granitiques du Lyonnais. C'est donc, en quelque sorte, une chlorose des Algues. Lœw a aussi observé une chlorose des Algues, même en présence du fer.

En résumé, il semble bien prouvé que l'action chlorosante du calcaire s'exerce sur toutes le plantes vertes silicicoles, Phanérogames et Cryptogames.

II. — RECHERCHES PERSONNELLES SUR LA CHLOROSE DES PLANTES SILICICOLES EN SOLS CALCAIRES

Nos études porteront d'abord sur les caractères extérieurs, puis sur les caractères internes de la chlorose. Nous envisagerons successivement, à ces deux points de vue, les espèces que nous avons expérimentées et celles que nous avons seulement observées en différentes localités.

A. — ÉTUDES DE MORPHOLOGIE EXTERNE

1° SUR NOS PLANTES EXPÉRIMENTÉES

La chlorose végétale n'est pas une maladie spéciale, une autopathie ; c'est à la fois la manifestation et l'indice, en un mot le symptôme principal, d'un ralentissement, d'un trouble ou d'un arrêt de la nutrition et de l'assimilation des matières minérales.

Partant de cette définition provisoire que nous adopterons présentement et dont nous donnerons la démonstration dans l'exposé du processus chlorotique, nous comprenons d'ores et déjà qu'en décrivant les *caractères de la chlorose*, nous décrirons les caractères des altérations occasionnées dans les appareils chlorophylliens par les troubles de la nutrition minérale.

Il importe de ne point confondre les effets avec les causes. Dans le cas que nous envisageons plus spécialement, les *causes* sont d'ordre physique et chimique et *représentées surtout par le calcaire* agissant sur les plantes silicicoles; les *effets* sont *d'abord l'atrophie et les variations de forme et de structure* que nous avons déjà abordées dans nos études sur l'influence du sol et *ensuite la chlorose à tous les degrés* selon le taux et l'état du calcaire dans le sol.

L'étude des caractères des feuilles chlorotiques nous permettra de développer et de préciser les observations que nous avons seulement ébauchées dans nos études précédentes.

Toutes les plantes silicicoles que nous avons cultivées en sols calcaires ont présenté une décoloration, un jaunissement plus ou moins prononcé de leurs appareils chlorophylliens, concurremment avec les modifications morphiques et structurales.

Déjà, dans les sols à 4 o/o de calcaire, la teinte verte des feuilles tend à devenir moins foncée chez certaines espèces, surtout chez *Hypericum pulchrum, Orobus tuberosus, Ornithopus perpusillus.*

A 6 o/o, la teinte devient encore plus claire ; de nombreuses feuilles jaunissantes s'observent même dans les semis de *Digitalis purpurea, Orobus, Ornithopus.*

A 9 o/o, la chlorose s'est manifestée nettement vers la fin juin, après un jaunissement progressif chez *Orobus;* nous avons observé que, tandis que les premières feuilles formées sont restées assez vertes, les nouvelles, dès leur apparition, sont complètement jaunes. Ce phénomène s'observe aussi, d'ailleurs, chez les autres espèces. Nous en donnerons l'explication physiologique en décrivant le processus chlorotique.

Jasione, *Ornithopus*, *Lupinus* sont également déjà bien chlorosés à 9 o/o. Chez *Lupinus*, la teinte chorotique n'est pas uniforme, mais se manifeste sous forme de taches, de marbrures, entre les nervures, présentant ainsi comme une ébauche de panachure. Nous reviendrons plus loin, ainsi que dans nos considérations physiologiques, sur ce fait de la chlorose apparaissant sur le limbe, tandis que les nervures restent vertes.

A 12 o/o, la chlorose s'accentue et devient prononcée chez toutes les espèces. Chez *Trifolium arvense* cependant, les feuilles (et dans les autres sols également) ont été d'abord d'un rouge vif, puis d'aspect orangé, puis ont viré au jaune franc et finalement la plupart ont verdi; quelques-unes seulement sont restées jaunes et chlorotiques.

15 o/o. Les plantes silicicoles qui résistent à cette dose de calcaire sont toutes nettement chlorosées, notamment *Lupinus*, *Orobus*, *Ornithopus*, *Hypericum*. Un seul individu de Lupin et d'Orobe a résisté; les autres ont péri, complètement chlorotiques.

Notre terre argilo-calcaire à 15,5 o/o de Saint-Cyr-au-Mont-d'Or est très intéressante par suite de sa teneur extrêmement élevée en argile, teneur qui la rend compacte. Dans ce sol argileux et compact, les espèces xérophiles et arénicoles, notamment *Ornithopus perpusillus*, *Hypericum*, *Digitalis*, *Scleranthus*, *Teesdalia*, *Ornithopus perpusillus* n'ont pu résister à la double influence du calcaire et de la compacité du sol.

Trifolium, *Lupinus*, *Jasione*, *Orobus*, *Ornithopus sativus*, ont pu résister, mais leur système radiculaire s'est montré peu développé, cela se comprend; et, malgré l'influence atténuante attribuée à l'argile, ces espèces ont éprouvé une chlorose extrêmement intense.

20 o/o. Les espèces qui ont résisté, *Jasione montana*, *Hypericum humifusum*, *Ornithopus sativus*, *Digitalis purpurea*, outre leur chétivité et leur atrophie, ont été très intensément chlorosées.

25 et 32 o/o. *Hypericum humifusum*, *Digitalis* et *Ornithopus sativus* sont restées rudimentaires et fortement chlorotiques. Ces plantes étaient véritablement cachectiques au dernier degré, mourantes, et n'ont pu persister que grâce aux bonnes conditions physiques de végétation (aération, lumière, humidité, etc.) dont elles ont joui.

Il va sans dire que dans les sols dont la teneur en carbonate de chaux est supérieure à 32 o/o, la chlorose est absolument inévitable et sans aucun remède.

En définitive, nos expériences ont eu pour résultat direct la démonstration irréfutable de la chlorose engendrée par l'action chimique du carbonate de chaux chez toutes les espèces silicicoles de la flore spontanée que nous avons cultivées. Une restriction, ou plutôt une atténuation à cette conclusion générale, doit être faite en faveur de *Trifolium arvense*, qui nous a paru, dans les conditions où nous avons opéré, résister le mieux à l'action chlorosante du calcaire.

2° SUR DES PLANTES DIVERSES

Nous allons maintenant exposer les résultats de nos observations personnelles (1) sur des plantes silicicoles ou non, que nous avons recueillies soit au jardin botanique de la Faculté de médecine de Lyon, soit en divers points de la colline de Sainte-Foy-lès-Lyon dans des alluvions glaciaires et antéglaciaires, contenant en moyenne 14 à 16 o/o de calcaire.

Voici l'énumération de ces plantes qui nous ont présenté des chloroses plus ou moins accusées, mais ordinairement assez légères cependant :

(1) Nous aurons soin d'indiquer, autant que possible, les auteurs des quelques observations que nous avons empruntées, pour la Vigne notamment, à des publications antérieures.

Ampelopsis hederacea,
Vitis (notamment Gamay-Riparia et Gamay-Vialla),
Phaseolus,
Convolvulus,
Hedera helix,
Sempervivum tectorum,
Wistaria sinensis,
Daucus carota,
Nigella,
Acer,
Platanus vulgaris,
Cydonia,
Pirus,
Malus,
Quercus,
Tropeolum majus,
Salix,
Robinia pseudo-acacia,
Ailanthus glandulosa,
Mentha,
Evonymus,
Fragaria,
Lilac,
Cephalotaxus,
Thuya,
Abies Douglasii,
Althæa rosea,
Pteris aquilina,
etc.

Ces plantes, on le voit, appartiennent aux familles les plus diverses du règne végétal. La concordance des données que va nous fournir le double examen macroscopique et microscopique chez des plantes aussi hétérogènes sera un argument de plus en faveur de la théorie générale que nous exposerons.

Voici les observations générales que l'étude morphologique externe des espèces ci-dessus dénommées nous a suggérées.

Chez les feuilles linéaires ou à limbe plus ou moins étroit et réduit (*Daucus, Cephalotaxus, Thuya*, *Abies*, etc.), la teinte chlorotique, quelle que soit son intensité, envahit le limbe entier sans respecter le voisinage des nervures.

Chez les feuilles à limbe mince et bien développé (notamment chez *Convolvulus*, *Vitis*, *Acer*, *Cydonia*, *Quercus*, *Salix*, *Robinia*, *Evonymus*, etc.), les nervures, et leur voisinage immédiat, demeurent, ordinairement, d'un vert assez foncé au milieu de la teinte jaune générale du limbe membraneux.

Enfin, chez certaines feuilles, très plates mais néanmoins assez épaisses et de consistance molle (*Hedera*, *Phaseolus*, *Tropeolum*, *Lilac*, *Althæa*, etc.), la disposition de la teinte chlorotique en juillet, époque du maximum, semble être mixte, c'est-à-dire que çà et là (mais non spécialement le long des nervures), certaines plages du limbe conservent leur apparence verte à peu près normale.

Il y a, d'ailleurs, toutes les formes de passage entre les trois aspects généraux que nous venons d'esquisser d'une manière plutôt un peu schématique.

Mais, en tout cas, la limite des plages ou nervures vertes et des parties jaunes est toujours comme estompée, fondue, et n'a *jamais la netteté de ces compartiments bien délimités* que l'on observe dans la *panachure vraie*. Nous en reparlerons, d'ailleurs, au chapitre du diagnostic de la chlorose.

3° EXPOSÉ DES CARACTÈRES EXTÉRIEURS DES PLANTES CHLOROTIQUES

Tout d'abord, on le conçoit, les caractères extérieurs de la chlorose sont infiniment variables et variés, et la description condensée que l'on en peut fournir est inévitablement quelque peu schématique.

Nous décrirons séparément les caractères morphologiques externes de la plante entière (localisation, intensité, rabougrissement chlorotique), puis les caractères morphologiques externes des différents organes (tiges et pétioles, feuilles, racines, organes reproducteurs).

a. Plante entière en général

α. **Localisation et intensité de la chlorose.** — On peut observer simultanément, sur n'importe quelle plante chlorosée sous l'action du carbonate de chaux, tous les intermédiaires entre les feuilles normales et les feuilles très chlorotiques. Il est extrêmement rare que l'intensité de la chlorose soit égale sur toutes les feuilles d'un individu malade. Très souvent, même chez les plantes herbacées et de petite taille, la chlorose ne se manifeste que sur quelques rameaux ou sur quelques feuilles, préférablement sur les parties jeunes. Nous en donnerons plus loin (chapitre cinquième) l'explication.

En outre, si parmi les feuilles chlorotiques observées sur une plante donnée, on constate presque toujours la présence simultanée de chloroses à tous les degrés (l'envahissement chlorotique marchant de la périphérie au centre sur chaque feuille atteinte), il n'en est plus de même vers la fin de la saison chaude où le jaunissement sénile des feuilles usées vient s'ajouter au jaunissement prématuré de la chlorose.

β. **Rabougrissement chlorotique.** — Ainsi que nous l'avons démontré dans nos expériences de culture, la chlorose engendrée par le carbonate de chaux s'accompagne toujours de modifications morphiques : les plantes chlorotiques sont délicates, souffreteuses, rabougries même.

Le *cottis*, ou pousse en ortille de la Vigne, qui n'est qu'une sorte de chlorose exagérée, existe aussi chez toutes les plantes chlorotiques au dernier degré, mais moins prononcé cependant.

1° Dans le cas des plantes herbacées de la flore spontanée, il y a surtout atrophie générale, et peu de rabougrissement ou de recroquevillement des extrémités axiles et foliaires.

2° Dans les plantes frutescentes, telles que la Vigne, la Vigne-Vierge, etc., le rabougrissement est peu prononcé dans les cas de chloroses tardives ou passagères, mais il existe toujours nettement dans les cas de chloroses précoces et chroniques, concurremment avec la décoloration des feuilles.

Chez la Vigne, en particulier, « les dimensions des flages, dit Cazeaux-Cazalet, sont tout à fait en rapport avec la gravité de la maladie. Les flages atteintes seulement au 1er degré ont les dimensions normales ; elles sont ainsi quelquefois au 2e degré, lorsque l'aggravation de la chlorose est localisée à leur extrémité sur une petite longueur. Mais, dans les autres cas, le développement de la plante est presque toujours entravé. Les pieds malades au 4e degré restent rabougris ».

3° Chez les arbres, le défaut de développement et l'aspect rabougri ne s'observent que chez les espèces très calcifuges (Pins sylvestre et maritime, Châtaignier, etc.) ; il est à peine sensible chez les arbres bien acclimatés ou indifférents. Chez les arbres fruitiers (Poiriers, Pêchers, Cognassiers, etc.), la chlorose existe seule et n'est plus accompagnée que d'une atrophie et d'un rabougrissement insignifiants.

b. Divers organes considérés séparément

α. **Tiges et pétioles.** — Ici encore nous devons distinguer trois cas :

1° Chez les plantes herbacées, les tiges participent à la déco-

loration chlorotique, lorsqu'elles sont vertes normalement; mais dans le cas des tiges non colorées en vert (tiges à structure secondaire possédant du liège dans l'écorce, etc.), la coloration des tiges d'individus chlorotiques est, à peu de chose près, semblable à celle des individus non chlorotiques.

Dans nos plantes expérimentées, les parties vertes des tiges de *Scleranthus*, *Ornithopus*, *Orobus*, etc., participaient à la flavescence, tandis que les tiges et pétioles de *Jasione*, *Lupinus*, *Galeopsis*, etc., gardaient leur apparence normale.

2° Chez les arbustes et arbrisseaux, les tiges très jeunes, non encore complètement lignifiées, participent seules à la décoloration.

Chez la Vigne en particulier, « les jeunes rameaux, selon Viala, jaunissent tout comme les feuilles; et souvent aussi, lorsque la chlorose a une grande intensité, leurs extrémités se dessèchent et tombent. Tout en étant très jaunes, les tiges continuent à s'accroître, mais plus lentement, et à produire de nouvelles feuilles ». Dans la chlorose au 4e degré, de nombreux petits rameaux, très courts, grêles, naissent des bourgeons axillaires, et c'est alors que la souche prend cet aspect buissonneux, rabougri, désigné sous le nom de cottis.

3° Chez les arbres, les tiges, par suite de leur lignification rapide, n'ont pas le temps de jaunir et la chlorose ne se manifeste pas dans leur coloration.

β. **Caractères extérieurs des feuilles.** — Parmi les tissus à chlorophylle, ce sont évidemment les feuilles qui présentent avec le plus d'intensité et d'évidence les caractères chlorotiques, exception faite pour les feuilles cotylédonaires qui verdissent toujours plus ou moins à la lumière après leur libération des téguments de la graine, mais qui ne présentent jamais, d'après nos observations, de chlorose bien nette.

Donnons quelques détails sur les aspects chlorotiques des feuilles normales, c'est-à-dire à limbe bien développé.

Nous distinguerons, pour la clarté de la description, et bien que les phénomènes chlorotiques soient fort variables en intensité et en rapidité selon les espèces et même selon les individus, quatre degrés successifs de chlorose. Il est bien

entendu que notre description s'applique à toutes les plantes et non pas seulement à la Vigne :

1° *Chlorose au 1er degré.* — Les feuilles présentent seulement une diminution d'intensité de la teinte verte qui pâlit plus ou moins, mais souvent imperceptiblement. Un très grand nombre de plantes, végétant même en sol à peu près normal, mais se trouvant en état de malaise sous diverses influences extrinsèques ou intrinsèques, sont souvent atteintes de chlorose au 1er degré. Dans nos expériences, la chlorose au 1er degré s'est manifestée sur les plantes végétant dans les sols à 4 et 6 o/o de calcaire.

Chez la Vigne, les feuilles les plus jeunes, âgées de quelques semaines tout au plus, sont seules atteintes au premier degré ; leur décoloration, d'après Cazeaux-Cazalet, à qui nous empruntons une partie de ces détails sur la chlorose de la Vigne, est partielle, et souvent peu intense ; le parenchyme est encore parsemé de plages très vertes et les nervures conservent leur teinte vert foncé

A ce degré, la chlorose, d'ailleurs, n'est souvent que momentanée et la couleur normale peut reparaître partout.

2° *Chlorose au 2me degré.* — Les feuilles présentent çà et là, sur la face supérieure du limbe, une teinte *sui generis*, intermédiaire entre le vert pâle et le vert jaunâtre, quelquefois cependant franchement jaunâtre. Cette décoloration est toujours visible dans les espaces internerviens et affecte ces espaces soit uniformément et totalement, soit par plages ou par taches seulement. Insistons dès maintenant sur ce point essentiel, à savoir que ces marbrures ou ces taches sont presque toujours à contours fondus et indistincts, le jaune de la tache passant insensiblement au vert pâle environnant.

Dans nos plantes expérimentées, la chorose au 2e degré s'est manifestée déjà à 6 o/o chez *Ornithopus perpusillus*, *Orobus*, et chez quelques individus de *Digitalis purpurea* ; à 9 o/o chez la plupart des espèces. Le caractère de chlorose en taches, plages ou marbrures a été surtout bien net chez *Lupinus polyphyllus*.

Chez la Vigne, les pieds malades au 2e degré ont leurs feuilles

déjà jaunes et translucides sur presque toute leur surface ; mais les feuilles les plus anciennes, et conséquemment les plus grandes, demeurent encore vertes en majorité. Les jeunes feuilles qui naissent à cette période restent toujours petites et jaunes.

La chlorose au 2e degré n'est pas encore mortelle. Un traitement approprié peut la faire disparaître, ainsi que de bonnes conditions atmosphériques et telluriques de végétation.

3° *Chlorose au 3e degré.* — Les feuilles deviennent uniformément jaunes avec, çà et là seulement, surtout le long des nervures, des parties demeurées verdâtres.

La chlorose est donc manifeste, et déjà très intense chez beaucoup d'espèces. La teinte jaune, toujours non équivoque, est plus ou moins accentuée et pure selon les espèces. Il y a, à cet égard, de nombreuses différences individuelles, quelquefois difficiles à saisir et, en tout cas, impossibles à décrire et à représenter.

Dans nos expériences, la chlorose au 3e degré s'est manifestée chez toutes les espèces silicicoles, à partir de 12 à 15 o/o de carbonate de chaux, et d'une façon particulièrement prononcée chez *Lupinus*, *Orobus*, *Ornithopus*, *Hypericum*. Dans la chlorose au 3e degré, les feuilles ne nous ont pas encore présenté trace de mortification partielle.

Chez la Vigne chlorosée au 3e degré, les feuilles jeunes peuvent pourtant, en certains cas (grande chaleur, soleil excessif, etc.), être grillées partiellement, en des points très localisés qui roussissent et deviennent *feuille morte*, surtout sur les bords du limbe. Les anciennes et grandes feuilles sont, elles aussi, de plus en plus décolorées, comme si une contagion occulte leur infiltrait le mal. Les jeunes rameaux ne donnent plus que des rudiments de feuilles qui ne peuvent même pas parvenir à constituer leur limbe complètement. Au 3e degré, la chlorose est déjà très grave. La mort est proche.

4° *Chlorose au 4e degré.* — Les feuilles sont totalement et absolument jaunes, même au niveau des nervures principales ; la teinte jaune, en plus, devient moins foncée, elle tourne au jaune coing, puis au jaune pâle et au jaune crémeux ; en

outre, on observe ordinairement des plages du limbe qui se mortifient, c'est-à-dire qui sont comme grillées, et qui ressemblent singulièrement aux premières phases de la mortification automnale.

La mortification et le recroquevillement commencent presque toujours, dans la chlorose au dernier degré, d'abord par l'extrémité antipétiolaire, et ensuite par les bords latéraux du limbe. Finalement, sous l'action des désordres internes, la mortification s'accentue et les feuilles périssent *sur place* et *sans tomber*, les unes après les autres.

Dans nos expériences, cette chlorose, qui fait songer, par son aspect misérable, à la cachexie humaine *proxime obitura*, s'est manifestée dans les sols contenant 15,5 o/o (sol très argileux de Saint-Cyr), 20, 25, 32 o/o et au-dessus, de calcaire. Dans ces sols, les rares individus qui vivotent misérablement perdent tous leurs feuilles au fur et à mesure de leur naissance, de la façon que nous venons de décrire.

Chez la Vigne chlorosée au 4e degré, les feuilles sont toutes complètement décolorées, et la teinte passe même du jaune sale au blanc crémeux; les grillures et les points de mortification envahissent le parenchyme par bandes longitudinales entre les nervures. L'extrémité et les bords du limbe se recroquevillent et, finalement, les feuilles se dessèchent.

A cette période, aucune feuille nouvelle ne peut se développer, c'est déjà le *cottis* avec tous ses caractères décrits à propos des tiges. La mort envahit la plante lentement, mais sûrement, progressivement et presque irrévocablement.

Tels sont, rapidement esquissés, les caractères extérieurs de la chlorose des feuilles. Rappelons à nouveau, afin d'éviter toute équivoque et confusion, que nous n'étudions ici que les phénomènes chlorotiques imputables à l'influence chimique du calcaire, concurremment avec les altérations morphiques décrites antérieurement sur nos espèces silicicoles expérimentées.

γ. **Caractères extérieurs des racines de plantes chlorotiques.** — Nous rappellerons ici la description déjà donnée à propos des variations de forme des organes radiculaires sous l'in-

fluence du calcaire. Il n'y a pas, pour l'ensemble des diverses plantes chlorosées par le carbonate de chaux, de caractère bien net et bien frappant dans les racines.

En règle générale, il nous a paru que les racines des plantes chlorotiques tendent à *buissonner*, c'est-à-dire à rester faibles et nombreuses ; en un mot, il y aurait exagération de la ramification, comme si la plante, se trouvant mal, cherchait un milieu meilleur en poussant de nouvelles racines qui elles-mêmes ne peuvent prendre leur développement normal. Les poils absorbants paraissent aussi nombreux, mais courts, atrophiés et tortueux. Chez la Vigne en particulier, les données relatives aux racines des pieds chlorotiques sont également peu nettes, peu concordantes, et même contradictoires, en dépit ou peut-être en raison du grand nombre des observations faites, un peu partout, par les praticiens. En effet, selon Viala, « les racines ont un développement presque normal ou plutôt faible, mais elles ne présentent aucune altération extérieure ; rien n'indique qu'elles appartiennent à un cep malade. Cependant, ajoute cet auteur, elles sont plus molles et plus flexibles que les racines des Vignes non malades, elles ploient sous la main comme du caoutchouc, elles sont moins lignifiées».

Par contre, d'après Cazeaux-Cazalet, qui paraît avoir très bien étudié la question, les racines des Vignes chlorotiques présentent des caractères extérieurs bien nets :

« Les pieds jaunes au 1er degré se distinguent des pieds verts en ce qu'ils n'ont plus de racines nouvelles en formation, et quelquefois encore parce qu'ils n'ont pas la partie du système radiculaire la plus rapprochée du sol ferme aussi développée.

Au 2^{e} degré, les pieds jaunes ont toujours le collier de racines le plus superficiel déjà faible, et pas du tout de racines en formation. Au 3^{e} degré, le collier superficiel est absent ou rudimentaire, les racines inférieures sont moins nombreuses. Pas de racines en formation. Au 4^{e} degré, enfin, pas de collier superficiel, peu de racines inférieures ; ensemble du système radiculaire peu développé. Quel que soit le cépage, les racines des pieds jaunes aux 3^{e} et 4^{e} degrés sont moins ramifiées, plus grêles, plus dures, plus tourmentées, à direction moins rectiligne, à diamètre plus faible, que celles des pieds verts,

On trouve ces dernières plus charnues en les pinçant avec l'ongle ».

C'est ce que nous avons pu constater aussi chez quelques-unes de nos plantes expérimentées, notamment chez le Maïs (Pl. X) et le *Galeopsis ochroleuca* (Pl. XI) : racines plus grêles, plus dures, plus tourmentées, à diamètre plus faible, mais, croyons-nous, tout aussi ramifiées, sinon davantage pour quelques plantes, que chez les pieds verts. Ajoutons toutefois que la chlorose de nos Maïs et *Galeopsis* était très peu prononcée au 1er degré, et à peine au 2^{e} degré. Au surplus, répétons-le encore : *Chlorose = action nocive du carbonate de chaux*.

Conséquemment, la description que nous donnons des organes chlorotiques rappelle beaucoup, et complète simplement, notre description antérieure des altérations dues au calcaire.

δ. **Caractères des organes reproducteurs des plantes chlorotiques.** — Là encore, nous répétons et complétons nos descriptions antérieures. Les plantes altérées et chlorosées par le calcaire ont une floraison et une fructification très retardées, et même absentes dans les sols très calcaires. La reproduction ne peut donc s'effectuer. Nos observations personnelles sur ce point sont complètement d'accord avec les remarques antérieures de Contejean, Fliche et Grandeau, Viviand-Morel, Fr. Morel, V. Oehlmann, G. Coutagne, Frank, etc.

La pratique viticole a démontré péremptoirement que les Vignes chlorotiques sont infécondes, et que cette infécondité est proportionnelle à l'intensité de la chlorose, c'est-à-dire à la quantité et à la qualité du calcaire.

« Si la chlorose se manifeste avant la floraison, dit Viala, elle amène la coulure des fleurs, un retard dans le développement des grains qui restent petits, millerandés, jaunâtres, avec quelques plaques rousses ; plus tard, ils se dessèchent ».

Tels sont, décrits aussi fidèlement que possible, les caractères chlorotiques extérieurs des plantes intoxiquées par le carbonate de chaux.

B. — ÉTUDES DE MORPHOLOGIE INTERNE

1° SUR NOS PLANTES EXPÉRIMENTÉES

Si nous pénétrons maintenant dans la profondeur des tissus chlorotiques, nous nous rapprochons beaucoup du siège véritable des phénomènes ictéroïdes.

Quelles que soient notre confiance et notre sympathie pour les excellents procédés techniques de colorations et de microchimie dont la science s'est enrichie depuis quelques années (1), nous avons cru devoir néanmoins, autant que possible, nous en tenir à l'examen pur et simple des coupes montées vivantes et directement, sans aucune préparation, dans l'eau distillée. On sait d'ailleurs, ainsi que l'a rappelé récemment Étard, que les protoplasmes (c'est-à-dire les matières vivantes) « ne se laissent dissoudre, travailler chimiquement, ou même teindre, qu'à l'état de mort ».

Nous avons donc employé la méthode la plus simple, la plus rudimentaire même, mais que nous avons cru la meilleure parce qu'elle est la seule qui n'altère ni l'aspect, ni la forme, ni le fonctionnement des tissus examinés. Hâtons-nous d'ajouter que même le séjour dans l'eau ne doit pas être trop prolongé, car l'eau est elle-même un réactif qui gonfle, imbibe et hydrate à la longue les matières intracellulaires.

Le mieux serait de monter la coupe dans une goutte de suc cellulaire de la plante disséquée.

Nous avons effectué nos examens, à tous les grossissements, au moyen d'excellents microscopes de Nachet, L. Benèche et Carl Zeiss. Nous disposions, avec ce dernier instrument, d'un grossissement de 1500 diamètres (*Compens.-Ocular 12* et objectif *homog. immers. 2,0 min., apert. 1,30*). Nous n'avons employé que les réactifs indispensables pour la détermination des matières amylacées (eau iodée), des matières chlorophylliennes et grasses (éther, teinture d'alkanna), ainsi que ceux

(1) V. notamment: Le Chanoine J.-B. Carnoy. *La Biologie cellulaire*, etc. R. Gérard, Poulsen, Olivier, etc.

généralement en usage pour la mise en relief des différents tissus, dans le cas où l'on ne veut observer que les membranes (hypochlorite de soude, vert d'iode, carmin aluné de Grenacher, alcools à divers titres et absolu, etc.).

Sans doute, la méthode d'examen dans l'eau présente, comme les autres, de graves inconvénients ; elle est souvent insuffisante, mais si les résultats auxquels elle conduit sont peut-être moins brillants et d'allure moins savante, ils n'en sont pas moins sûrs et intéressants.

Rappelons encore, avant d'entrer dans le cœur de notre sujet, que les phénomènes biologiques intracellulaires sont extrêmement variables, et qu'il est impossible de donner une description uniforme et applicable à tous les cas, graves ou bénins, chroniques ou passagers, de chlorose chez les plantes. Nous allons toutefois exposer, d'une façon aussi claire et aussi développée que possible, nos observations et nos idées sur les altérations microscopiques imputables au processus chlorotique. Nous examinerons successivement, pour chaque espèce, des coupes de feuilles saines (sols à 0 et 2 o/o), de feuilles faiblement chlorotiques (sols de 4 à 12 o/o) et de feuilles intensément chlorosées (sols de 15 à 32 o/o).

Pour éviter des redites et des descriptions longues et inutiles, nous donnerons surtout des détails sur trois ou quatre espèces, d'après nos notes prises au fur et à mesure de nos examens histologiques.

Lupinus polyphyllus

a. Feuilles non chlorosées, prises en sols à 0 et 2 o/o. — La disposition générale des diverses couches foliaires présente la physionomie ordinaire. Les cellules du parenchyme en palissade sont absolument bourrées de chloroleucites amylifères, surtout abondants contre les parois ; les noyaux sont difficilement visibles, souvent même inaccessibles à l'examen direct. Le suc cellulaire et le protoplasme sont clairs, limpides, ne contenant presque pas de corpuscules granuleux, sauf quelques rares éléments bactéroïdes claviformes ou ovoïdes, animés de rapides mouvements oscillatoires et translatoires. Ces corpuscules mobiles, dont nous

discuterons ultérieurement la nature, sont rares dans les cellules non chlorosées du Lupin. Les cellules du parenchyme lacuneux sont encore riches en chlorophylle ; mais les chloroleucites y sont toutefois moins nombreux et moins gros que dans le tissu palissadique. Dans toute l'épaisseur du mésophylle, on observe çà et là, au milieu de ces cellules intactes, des cellules dont les chloroleucites sont pâles, diffus et irréguliers ; le reste du contenu cellulaire présente aussi des signes d'altération plus ou moins prononcée. Nous nous sommes assuré que ces éléments altérés ne sont point des cellules lésées par le rasoir ou écrasées par le covert. D'ailleurs, autre caractère important, ces cellules altérées contiennent de nombreux corpuscules mobiles ; leur protoplasme a subi, comme les chloroleucites, une réduction, et les vacuoles de suc cellulaire sont, par contre, plus développees. En outre, les chloroleucites altérés sont diffus, mélangés au suc cellulaire dans lequel se meuvent les corpuscules mobiles, tandis que le noyau et le protoplasme sont relégués plus ou moins contre les parois.

Nous n'avons jamais observé de corpuscules mobiles, sauf à l'état isolé et très rarement, dans les cellules à grains chlorophylliens normaux et pleins d'activité.

b. Feuilles nettement chlorosées, prises en sol à 9 o/o (chlorose aux 1er et 2e degrés). — Ces feuilles ont une teinte vert-jaunâtre, avec des taches et marbrures plus franchement jaunes (V. antérieurement, *Etudes de morphologie externe*).

Les cellules du mésophylle, dont les membranes paraissent granuleuses, ont des chloroleucites moins nombreux, plus pâles, jaunâtres, à contours moins nets et comme diffus, et ils ne contiennent presque plus de granules amylifères ; le noyau devient assez visible, souvent même très net, par suite de la diminution de l'opacité du rideau vert ; ces cellules altérées contiennent de nombreux corpuscules très mobiles, paraissant se jouer dans le suc cellulaire et entourant en grand nombre les autres corpuscules figurés. Dans les cellules les plus altérées, les chloroleucites se désagrègent ; leurs débris granuleux, accompagnés de gouttelettes huileuses, se reunissent en grumeaux diffus au centre de la cavité cellulaire ; d'autre part,

le protoplasme se confond avec le suc cellulaire, comme si ces deux matières, par la liquéfaction de l'une et la concentration de l'autre, se mélangeaient plus ou moins. En définitive, le contenu cellulaire tend à s'uniformiser graduellement par une fonte progressive des éléments figurés.

Dans l'examen de très nombreuses coupes de Lupin à 9 o/o, nous avons toujours noté également la marche irrégulière de la chlorose : dans la même coupe, on trouve des cellules déjà décolorées et dégénérées ; d'autres, seulement altérées ; d'autres enfin, demeurées à peu près intactes.

c. Feuilles intensément chlorosées, prises en sols à 12 et 15 o/o (chlorose aux 3e et 4e degrés). — Les chloroleucites, dans toutes les cellules du mésophylle, sont tellement pâles et altérés qu'on les distingue à peine ; en outre, ils sont infiniment moins nombreux que précédemment; quelques-uns, par-ci par-là, ont pourtant encore des contours visibles.

Nombreux navicules et fuseaux d'oxalate de chaux dans certaines cellules du parenchyme lacuneux qui correspondent probablement aux glandes oxaligènes. Les noyaux sont encore visibles dans la plupart des cellules.

Caractère important : les cavités cellulaires, où le protoplasme et le suc altéré paraissent s'être fusionnés, sont remplies de corpuscules mobiles et de globules huileux. Ces globules oléiques, produits de la dégénérescence chlorophyllienne, sont solubles complètement dans l'éther et plus ou moins colorables par la teinture d'alkanna. Quelques-uns pourtant semblent ne pas prendre cette teinture. Aucune trace d'amidon, soit à l'examen direct, soit à la réaction iodée.

Les corpuscules mobiles, très nombreux, extrêmement petits et de mobilité variable (quelques-uns même sont ou paraissent immobiles), pullulent et forment comme des nids et des amas dans certaines cellules décolorées ; chez ces dernières, le noyau lui même semble avoir disparu. En outre, ces corpuscules mobiles abondent aussi dans les cellules épidermiques. Nous aurons à reparler de ces corpuscules.

Les altérations que nous venons de décrire marquent le dernier degré de dégénérescence et de désagrégation cellulaire ; la mort est proche pour le végétal, elle a déjà envahi un certain

nombre de cellules (celles dont le contenu paraît complètement liquéfié et dont le noyau lui-même a disparu), qui serviront comme de centres d'où la mortification s'étendra de proche en proche pour s'emparer, en fin de compte, de la feuille entière.

Ornithopus perpusillus

a. Feuilles saines en sol normal à 0 o/o. — Le parenchyme mésophyllien est bien développé, à petites cellules rondes, bondées de chloroleucites bien conformés. Çà et là, quelques cellules à contenu plus ou moins altéré et présentant de rares corpuscules mobiles. Fait à noter : les cellules altérées sont isolées et dispersées sans ordre, et chacune d'elles est entourée par des cellules paraissant intactes.

b. Feuilles chlorosées en sol à 20 o/o (chlorose aux 3e et 4e degrés). — Les chloroleucites sont beaucoup moins nombreux et à contours moins nets, en général. Les corpuscules mobiles abondent dans la plupart des cellules, surtout dans celles qui sont le plus profondément désorganisées.

En général, les phénomènes sont semblables à ceux décrits chez *Lupinus*.

Digitalis purpurea

a. Feuilles saines en sol normal à 0 o/o. — Dans les nombreuses coupes que nous avons examinées, prises sur des individus obtenus par nos semis, la plupart des cellules du parenchyme lacuneux étaient presque dépourvues de chlorophylle ; la diminution des chloroleucites allait en s'accentuant depuis le tissu palissadique jusqu'à l'assise sous-épidermique inférieure. Les corpuscules mobiles, de forme générale ovoïde, ne sont en nombre que dans les cellules sans chlorophylle ou à chloroleucites manifestement altérés.

b. Feuilles très chlorosées, prises en sols à 20 et 25 o/o (chlorose aux 3e et 4e degrés). — Les grains de chlorophylle sont en grande majorité diffus, désagrégés et grumeleux. Les cellules contiennent pour la plupart de très nombreux corpuscules mobiles, dont beaucoup sont sphériques, tels des microcoques. En somme, altérations analogues par leur intensité aux deux espèces ci-dessus décrites.

Roripa pyrenaica (*espèce transplantée*)

a. Feuilles saines, à 0 o/o. — Les cellules mésophylliennes sont intactes, excepté quelques-unes qui sont altérées et qui contiennent des corpuscules mobiles qui nous ont paru s'introduire jusque dans l'intérieur des chloroleucites, comme pour y dévorer les grains amylogènes.

b. Feuilles chlorosées (transplantations de deux mois en sol à 20 o/o). — Les chloroleucites sont tous en pleine dégénérescence graisseuse; quelques grains sont pourtant encore assez bien conservés. Très nombreux corpuscules mobiles, abondants surtout dans les cellules les plus altérées. Absence complète d'amidon.

Autres espèces expérimentées. — Nous avons observé des phénomènes absolument analogues chez la plupart des autres espèces silicicoles expérimentées par nous et chlorosées en sols calcaires. Nous nous bornerons, pour l'instant, à cette brève exposition de nos examens microscopiques, sur lesquels nous reviendrons en détail dans les paragraphes suivants.

2° SUR DES PLANTES DIVERSES

Nous avons étudié avec soin quantité de préparations et de coupes pratiquées sur des feuilles saines ou chlorotiques de chacune des espèces diverses mentionnées dans nos études de morphologie externe.

Partout, nous avons retrouvé les mêmes altérations du protoplasme, des corps chlorophylliens, de l'amidon, et variables suivant le degré de chlorose, que celles que nous avons décrites chez nos espèces expérimentées.

Nous allons donner quelques détails sur certaines plantes, et surtout sur la Vigne.

Vigne. — Dans toutes les feuilles de Vigne chlorosées que nous avons examinées, et qui provenaient des domaines du château de Bramafan, à Sainte-Foy-les-Lyon, du château de Bois-Dieu près Limonest, et de Theizé près le Bois-d'Oingt (Rhône), nous avons constaté que la désagrégation chlorophyl-

lienne et la dégénérescence cellulaire progressaient à la fois dans toute l'épaisseur du mésophylle.

Si, comme on l'a dit jusqu'à ce jour, la face supérieure de la feuille paraît jaunir avant la face inférieure, cela ne tient pas nécessairement à ce que les palissades se décolorent les premières, mais simplement à ce que les grains chlorophylliens, d'abord moins gros et moins nombreux que dans les feuilles saines, se disposent de préférence le long des parois perpendiculaires à la surface de la feuille, et que, dans les cellules du tissu lacuneux, ces mêmes grains restent disséminés sans ordre et donnent par leur ensemble l'impression d'une teinte plus foncée.

En outre, il nous a paru (Pl. XIV) que presque toujours les derniers vestiges de matière verte se trouvent dans l'assise sous-palissadique, dont les cellules sont aussi celles qui contiennent le plus de globules huileux et de corpuscules mobiles.

Ces derniers, en particulier, forment de véritables nids dans ces cellules, et ils viennent pour ainsi dire former, à ce niveau sous-palissadique, comme une couche continue, une sorte de rideau ou d'écran entre les deux tissus du mésophylle. Il est des cellules, et elles ne sont pas rares, qui contiennent certainement plusieurs centaines de corpuscules mobiles ! Dans les cellules des palissades et du tissu lacuneux, ces corpuscules sont ordinairement peu nombreux et disséminés par petits groupes de deux à huit environ dans une cellule. Les cellules de l'ostiole stomatique en renferment parfois un certain nombre ; les cellules épidermiques ordinaires n'en montrent qu'à l'état isolé, et rarement.

Les raphides d'oxalate de chaux nous ont paru un peu plus abondants, et en faisceaux plus gros, dans les cellules chlorotiques que dans les cellules saines.

Un fait que nous avons signalé à propos de nos plantes silicicoles expérimentées se retrouve dans la Vigne, à savoir que les feuilles saines présentent çà et là quelques cellules à chloroleucites altérés et contenant des corpuscules mobiles. Il est rare de rencontrer ces corpuscules dans des cellules paraissant intactes ; mais pourtant on en observe quelquefois.

Phaseolus. — Nous avons examiné les Haricots que nous avons cultivés à titre accessoire dans nos sols calcaires.

Dans les feuilles provenant des sols à 6 o/o, nous avons rencontré des corpuscules mobiles en assez grand nombre, même dans les cellules paraissant intactes, mais surtout dans de nombreuses cellules altérées. Il est vrai que nos plantes étaient presque toutes en état de malaise par suite de la pauvreté relative du sol et des arrosages à l'eau distillée.

Dans les feuilles provenant du sol à 32 o/o, l'altération cellulaire et chlorophyllienne était à son comble, et les corpuscules mobiles, variables comme forme et dimensions, pullulaient véritablement.

Pirus — Dans les feuilles non chlorosées, les chloroleucites sont intacts, les noyaux des cellules sont granuleux et bien visibles; pas de globules d'apparence huileuse; les corpuscules mobiles sont rares.

Dans les feuilles chlorosées, les deux assises sous-épidermiques supérieure (palissades) et inférieure sont absolument altérées et bondées de corpuscules mobiles, ainsi que beaucoup d'autres cellules du mésophylle chez lesquelles la chlorophylle a disparu également plus ou moins complètement,

Labiacées. — Chez *Mentha* et diverses Labiacées, nous avons toujours trouvé de nombreux corpuscules mobiles, surtout dans certaines feuilles maladives. Il importe de ne point confondre ces corpuscules mobiles avec des cristaux bacilliformes abondants dans les cellules épidermiques, et que Wigand, entre autres, avait pris pour des Bactéries.

Joubarbe. — Chez *Sempervivum*, les corpuscules mobiles se rencontrent en petit nombre, au milieu des grains d'amidon, dans les feuilles vertes normales. Il ne faut pas oublier que la Joubarbe vit très souvent sur le mortier carbonaté des murailles. Dans les exemplaires que nous avons transplantés en sols à 32 o/o et au-dessus, les cellules des feuilles pâles de la périphérie et du centre nous ont montré de très nombreux corpuscules mobiles, des chloreucites moins nombreux et altérés, et de très nombreux et gros cristaux octaédriques d'oxalate et de malate de chaux.

Plantes diverses. — Le Lilas, le Fraisier, le Lierre, la Vigne-Vierge, le Liseron, etc., etc., nous ont présenté des phénomènes en tous points analogues. Nous tenons à faire remarquer que les Lierres que nous avons examinés n'étaient point épiphytes, mais vivaient sur de vieux murs dont le mortier était presque complètement carbonaté. Nous affirmons donc que les chloroses que nous avons étudiées chez le Lierre étaient engendrées par le carbonate de chaux.

En définitive, ce sont partout les mêmes phénomènes de dégénérescence intracellulaire, accompagnés sinon de l'apparition, du moins de la multiplication des corpuscules mobiles. Et nous avons suivi ces mêmes altérations, non seulement dans le limbe, mais aussi dans les pétioles et les tiges herbacées chlorotiques. Nous ne multiplierons donc pas les descriptions inutilement.

Nous devons maintenant, en réunissant nos recherches personnelles aux résultats déjà obtenus, pour la Vigne notamment, par divers observateurs, compléter, préciser et coordonner les caractères microscopiques des altérations chlorotiques produites sous l'action nocive du calcaire.

3° EXPOSÉ DES CARACTÈRES MICROSCOPIQUES DES PLANTES CHLOROTIQUES

Nous exposerons dans l'ordre suivant les caractères microscopiques des altérations internes des plantes chlorotiques :

A. — *Feuille* { α. Histologie générale. ; β. Histologie spéciale (contenu cellulaire).
B. — *Tige* { α. Histologie générale. ; β. Contenu cellulaire.
C. — *Racine* { α. Histologie générale. ; β. Contenu cellulaire.

a. Histologie de la feuille chlorotique

α. Histologie générale.

1° Épaisseur comparée des mésophylles. — Les examens microscopiques auxquels nous nous sommes livré, en choisissant, bien entendu, pour chaque espèce étudiée, des feuilles chloro-

tiques ou saines de même dimension et en pratiquant les coupes exactement au milieu du limbe, nous ont amené à cette conclusion inattendue, à savoir qu'*il n'y a pas de différences bien sensibles* dans la disposition structurale du mésophylle des feuilles saines ou malades. Voici quelques exemples:

Digitalis. — Dans les feuilles non chlorosées (sol à 0 o/o) que nous avons observées, le parenchyme comprenait environ six assises, dont une, fort mal distincte, de palissades. Dans les feuilles très chlorotiques (sol à 20 o/o), le parenchyme ne comprenait plus que cinq assises en moyenne, et la différenciation des parties palissadique et lacuneuse nous a paru encore plus confuse.

Lupinus polyphyllus — L'épaisseur des feuilles non chlorosées ou chlorosées est sensiblement la même. Il n'y a que des différences trop insignifiantes et trop inconstantes pour être considérées comme caractéristiques. Les palissades chlorotiques sont un peu moins allongées que les palissades saines.

Dans les autres plantes expérimentées par nous, *Jasione*, *Hypericum*, *Ornithopus*, etc., les feuilles chlorotiques nous ont pourtant, en général, paru offrir une épaisseur légèrement moindre que celle des feuilles intactes.

Il y aurait donc, chez les plantes spontanées cultivées et chlorosées en sols calcaires, pour une réduction considérable des feuilles en surface, une diminution très légère, et parfois même presque nulle, en épaisseur.

Dans les arbres chlorotiques (Pêcher, Poirier, Cognassier, etc.), le mésophylle nous a toujours paru à peu près identique comme épaisseur et différenciation à celui des feuilles vertes.

Ces résultats sont confirmés par Ed. Griffon dans son récent travail. Il en est à peu près de même chez la Vigne.

En résumé donc, pas de caractère bien net dans l'épaisseur et la différenciation du mésophylle.

2° Épiderme et Poils. — Nous avons parlé, dans nos études sur l'influence chimique du calcaire, des différences observées dans l'aspect de l'épiderme, des poils et des villosités. Ces remarques sont applicables à la chlorose, puisque les feuilles

recueillies sur les sols calcaires sont généralement chlorotiques.

3° Répartition des cellules saines et altérées. — Tout d'abord, insistons à nouveau sur ce point très important, à savoir que les cellules altérées et dégénérées sont réparties fort irrégulièrement dans les tissus.

a. Dans les feuilles vertes normales, le microscope révèle à peu près constamment la présence, à travers le mésophylle, de quelques cellules à contenu manifestement altéré.

Cette particularité n'a pas été, à notre connaissance, signalée et remarquée suffisamment jusqu'à ce jour, et si elle peut paraître extraordinaire, elle n'en constitue pas moins un fait certain qui n'a d'ailleurs rien d'incompréhensible. En effet, les tissus sont constitués par des agglomérations, des colonies de cellules qui sont elles-mêmes autant d'individualités propres, vivant ensemble, pour ainsi dire, en symbiose physiologique. Rien de bien étonnant à ce que, sous l'influence de causes trop subtiles et délicates pour être perçues par nos moyens d'investigation, quelques-unes de ces cellules soient en état de malaise et de dystrophie au milieu des autres.

Il y a donc, même dans les feuilles saines, des éléments anatomiques chlorotiques, ou tout au moins, en puissance de chlorose. Qu'une cause générale et extrinsèque intervienne, par exemple un trouble de la nutrition comme dans l'action du calcaire, et ces cellules altérées deviendront plus nombreuses, plus contagieuses aussi pour leurs voisines, et dès lors la chlorose deviendra visible à l'extérieur.

b. Dans les feuilles moyennement chlorosées, les parties altérées sont plus ou moins étendues en surface et en épaisseur, et, ainsi que nous l'avons fait remarquer, le tissu palissadique ne paraît se décolorer le premier que par suite de l'agencement spécial des ses chloroleucites. En réalité, toute l'épaisseur du mésophylle s'altère à peu près simultanément.

c. Dans les feuilles intensément chlorotiques, il y a toujours, sauf dans les parties mortes et recroquevillées, des cellules ayant conservé une certaine activité vitale et possédant même encore des chloroleucites très nets et relativement en bon état.

β. Histologie spéciale de la cellule foliaire chlorotique

Nous étudierons et décrirons successivement :

1° La *Membrane* ;
2° Les *Chloroleucites* ;
3° Les *Amyloleucites* ;
4° Les *Hydroleucites* (*suc cellulaire*) ;
5° Le *Protoplasme* ;
6° Le *Noyau* ;
7° Les *Cristaux intracellulaires* ;
8° Les *Cristalloïdes protéiques* ;
9° Les *Corpuscules mobiles* ou *Microorganismes*.

1° Membrane. — L'étude comparative des membranes cellulaires ne donne pas de caractère différentiel bien précis.

Les membranes des cellules chlorotiques nous ont paru néanmoins, dans bien des cas, plus épaisses que celles des cellules saines. Indépendamment de la cellulosification plus avancée, ces membranes paraissent contenir, dans les feuilles chlorotiques, davantage de matières calciques (pectate de chaux surtout).

Beaucoup d'auteurs, d'ailleurs, admettent des combinaisons entre les matières cellulosiques et la chaux. Ces composés celluloso-calciques sont difficiles à déceler ; ils sont incolores, réfringents et transparents. Les réactifs chimiques ne donnent, selon nous, que des résultats sujets à caution, car ils agissent aussi bien sur le contenu cellulaire (ou sur ses résidus : il est presque impossible de *vider* complètement des cellules) que sur la membrane. De plus, l'état chimique de cette membrane varie aussi selon son état d'hydratation ou de dessiccation, et les procédés de coloration au moyen de solutions aqueuses ou alcooliques sont donc eux-mêmes imparfaits. L'observation directe sur des coupes bien nettes est, en somme, souvent suffisante pour montrer que les membranes chlorotiques sont ordinairement plus fortes et plus minéralisées que les membranes saines.

2° Chloroleucites. — Nous n'avons point l'intention de présenter ici l'étude complète des chlorophylles.

On pourra d'ailleurs consulter à cet égard la bibliographie complète de la chlorophylle, depuis 1723 jusqu'en 1884, donnée par Tschirch (1) et continuée de 1884 à 1895 par Marchlewsky (2). Nous rappellerons pourtant, très brièvement, les principales idées émises sur les matières vertes, jaunes ou rouges des feuilles. Ce résumé, très incomplet, mais suffisant, nous paraît indispensable pour appuyer l'importante conclusion à en tirer.

La *chlorophylle* (mot créé par Pelletier et Caventou, il y a un siècle), ou matière verte végétale, a été très étudiée.

Au début du XIX[e] siècle, Schubler et Funck (1825), Macaire Princeps (1828), ont trouvé que les acides ramènent la matière verte des plantes au jaune, puis au rouge, alors que les alcalis font verdir les feuilles de Peuplier, qui jaunissent en octobre, et les feuilles rouges du Sumac. Princeps crut qu'il n'y avait qu'une seule et même matière colorante qu'il dénomma la *chromule*.

Cependant Senebier en 1791 et Ch. Morren en 1827 avaient montré que la matière rouge n'existait que dans l'épiderme et non dans les cellules vertes. Il est vrai que Guibourt (1827) annonça aussi que la substance rouge est un principe de remplacement de la matière verte.

Berzélius a montré que la coloration verte obtenue par Macaire et Schubler en plongeant des feuilles jaunes ou rouges dans un alcali n'a rien de commun avec la chlorophylle. Néanmoins, la théorie de la chromule fut adoptée par la plupart des botanistes, tels que Lindley, Agardt, Link, etc. et par De Candolle, qui la développa dans sa *Physiologie végétale*, et fut très en faveur dans la science pendant un certain temps. Berzélius affirma aussi l'autonomie de la substance rouge qui fut appelée par lui *érythrophylle* et ensuite *anthocyanine*.

Morren (1827) et Princeps (1828) ayant montré que la matière rouge des fleurs, des calices et des bractées a les mêmes propriétés que la substance colorante des feuilles rougies à l'automne, il s'ensuit que l'érythrophylle est bien indépendante de la chlorophylle.

---

(1) *Untersuchungen über das Chlorophyll* (Berlin, 1884).

(2) *Die Chemie des Chlorophyls* (Leipzig, 1895).

L'érythrophylle est bleue quand le suc cellulaire est alcalin, rouge quand il est acide, violette quand il est neutre.

En 1835, MARQUART appela *anthoxanthine* la matière colorante jaune des pétales.

Vers la même époque, on découvrit dans les grains chlorophylliens une matière jaune, la *xanthophylle,* accompagnant la chlorophylle.

En 1854, ANGSTRŒM, par des recherches spectroscopiques, fut amené à cette conclusion que la chlorophylle des Phanérogames n'est pas la même que celle des Algues, ce que confirma l'année suivante le prince de SALM-HORSTMAR au point de vue purement chimique. En 1855 aussi, MARTENS a expliqué la réaction de MACAIRE et SCHUBLER, et a prouvé, ce que l'anatomie montre également, que la substance rouge (érythrophylle) ne dérive nullement de la chlorophylle, mais se forme à côté d'elle.

En 1857, ARTHUR GRIS a publié les premières recherches approfondies que nous connaissions sur la formation et le développement de la chlorophylle. Il a pensé que les grains verts se forment de différentes façons, notamment aux dépens du nucléus, ce qui a été, depuis, reconnu inexact; ou bien autour de particules d'amidon préexistantes, etc. Pourtant il a remarqué que les grains d'amidon se forment bien plus souvent dans les grains de chlorophylle, et que c'est très rarement l'inverse qui se produit. Il conclut en affirmant, après HOFMEISTER, que la chlorophylle se présente sous deux formes : jeune, à l'état diffus ; adulte, à l'état globuleux ou granuleux. GRIS ne put toutefois parvenir à suivre le développement complet des grains chlorophylliens ; il se heurta à d'insurmontables difficultés, et son travail est loin d'être suffisamment démonstratif.

Vers la même époque, ARNAUD sépara expérimentalement, dans les feuilles d'Epinard, la chlorophylle de la xanthophylle et de l'érythrophylle.

En 1868, J. SACHS a étudié la désagrégation des grains chlorophylliens. Dans les grains altérés, l'amidon est remplacé par des huiles qui seraient, d'après lui, peut-être un produit de transformation de l'amidon préexistant. Tous les organes tirent leur amidon de la chlorophylle. SACHS avait donc observé déjà les gouttelettes d'huile dans les plantes chlorosées. « Peu à peu, dit-il dans sa *Physiologie végétale*, les grains de chlorophylle diminuent, puis disparaissent tout à fait, et il ne reste plus dans la sève que des granules d'un jaune foncé, fortement réfrin-

gents (qu'il ne faut pas confondre avec les grains de chlorophylle jaunes, étiolés, formés dans l'obscurité); ils finissent souvent par se réunir en grosses gouttes huileuses et sont évidemment un résidu inutile à la plante. C'est à ces granules que les feuilles automnales doivent leur couleur ».

En 1869, Herapath a pensé que chaque plante a une chlorophylle spéciale.

En 1877, Armand Gautier a donné la première analyse précise de la chlorophylle. Il a opéré sur les feuilles de l'Epinard.

En 1879, Gautier a rapproché la chlorophylle de la bilirubine, au point de vue de ses aptitudes, de ses réactions et de sa composition élémentaire. Selon lui, elle ne contient pas trace de fer, et il ne faut pas la confondre avec le corpuscule chlorophyllien.

En même temps, Hoppe-Seyler a étudié la chlorophylle des Graminées et l'a dénommée *chlorophyllane*.

En 1880, Pringsheim a conclu que les grains de chlorophylle sont des corps visiblement poreux, dont la substance solide, semblable à peu près à une petite éponge, est imprégnée d'une huile grasse dans laquelle le pigment vert est dissous. Cette huile renferme encore une substance cristallisable nommée par lui *hypochlorine*.

En 1882, Pringsheim a émis l'idée que la chorophylle agit non pas chimiquement, mais simplement comme un écran qui, en absorbant les rayons lumineux, empêcherait ces rayons de produire une oxydation énergique dans le protoplasma, donnant ainsi la prépondérance au dégagement d'oxygène qui, d'après lui, pourrait encore avoir lieu même en l'absence de la matière colorante chlorophyllienne.

En 1883, Tschirch a étudié la chlorophylle. Il a admis, avec Pringsheim, que dans les plantes étiolées, la matière jaune qui se forme est de l'*étioline* et non de la chlorophylle, comme le veulent Wiesner et Kraus. Il a admis aussi que la cholorophyllane et l'hypochlorine sont identiques.

En 1889, Timirjazeff a annoncé qu'il a obtenu, en réduisant la chlorophylle, une substance qui serait la matière jaune des plantes étiolées et qui aurait la propriété d'engendrer la chlorophylle par oxydation; cette substance, qu'il a nommée *protophylline*, incolore et non fluorescente, se transformerait en chlorophylle sous l'influence des acides; elle ne serait autre, selon A. Gautier, que l'étioline de Tschirch.

En 1894, Monteverde a pensé que la protophylline n'existe pas

chez les plantes étiolées, qui renferment de la xanthophylle et de la *protochlorophylle*, substance légèrement jaunâtre, à fluorescence rouge, qui se transforme progressivement en matière verte sous l'influence de la lumière et des acides.

En 1895, A. Gautier a admis trois chlorophylles : la chlorophylle des Dicotylédones (Epinard); la chlorophylle des Monocotylédones (Graminées) qui serait, d'après lui, une chlorophylle vraie (c'est la chlorophyllane de Hoppe-Seyler) ; enfin la chlorophylle des Cryptogames.

En même temps, Etard a démontré par l'analyse chimique et la spectrométrie qu'il y a un grand nombre de chlorophylles, et même plusieurs dans la même plante (il a séparé quatre *chloromédicagophylles* dans la Luzerne, etc.). Selon lui, le sulfure de carbone ne dissout que des chlorophylles se rapprochant, par leur composition, des corps gras et pauvres en oxygène et en azote ; au contraire, l'alcool dissout des chlorophylles plus oxygénées et plus azotées.

En 1898, Etard, complétant ses recherches, a pu isoler, dans la même plante, six groupes de chlorophylles, dont chacun, à son tour, peut être complexe. Il a distingué, en outre, les chlorophylles vivantes, intangibles, qu'il a dénommées des *glaucophylles*, des chlorophylles mortes, sensibles à nos réactifs.

En même temps, Overton en Angleterre a conclu que l'anthocyanine ou érythrophylle serait un glucoside résultant de la combinaison de sucres en excès avec les tanins des sucs cellulaires. Cette matière rouge se forme, en automne, dans le suc cellulaire, pendant que la chlorophylle jaunit et disparaît ; les deux phénomènes sont indépendants, et on ignore par quelles actions chimiques la substance rouge prend naissance.

Enfin, dans un tout récent travail (1899), Tsvett a cru isoler *in situ* la vraie chlorophylle complexe, qu'il sépare au moyen de la résorcine rendue légèrement alcaline : « Les chloroplastes, dit-il, se gonflent, s'agrègent, se décolorent par séparation d'une matière verte sous forme de petits globules, et finissent par se dissoudre ainsi dans le cytoplasma. Les petits globules verts confluent peu à peu en grandes gouttelettes sphériques, d'apparence oléagineuse. On n'aperçoit finalement dans le lumen cellulaire que le noyau et une ou plusieurs gouttelettes réfringentes d'un beau vert ». Tsvett propose d'appeler *chloroglobine* cette substance verte, dont il a étudié les principales propriétés chimiques. « La chloroglobine liquéfiée par la résorcine neutre et

qui se présente alors sous l'aspect d'une masse verte diffuse, répandue dans toute la cellule, se décompose, dit-il, au bout de quelques heures en fournissant un dépôt de matière vert foncé, en petits granules, et d'abondantes cristallisations de *carotine* (xanthophylle) sous forme d'arbuscules et de sphérocristaux. Si l'on agite une teinture alcoolique de chlorophylle avec de la benzine (procédé de KRAUS), celle-ci se colore généralement en vert, tandis que la couche alcoolique prend une teinte jaune. Le résidu benzénique, qui représente essentiellement la chlorophylle de M. GAUTIER, ne réagit pas avec la résorcine, tandis que le résidu alcoolique se liquéfie dans cette dernière. La chloroglobine est donc, en définitive, une substance complexe, où la chlorophylle et la carotine sont faiblement unies à un radical de nature apparemment protéique. La chlorophylle et la carotine semblent avoir avec le radical protéique des liaisons assez lâches, du même ordre que celles qui, d'après les expériences de MM. BERTIN-SANS et MOITESSIER, réunit dans l'hémoglobine l'hématine à la matière albuminoïde. Il appartiendra, conclut TSVETT, à l'analyse chimique d'élucider entièrement la constitution de la chloroglobine ».

« Nous aurions dû choisir comme titre de ce chapitre, dit J. CROCHETELLE dans son travail sur le *Rôle de la chlorophylle* (1895), le suivant : *Des chlorophylles*, mais la question est déjà bien trop compliquée.... On désigne sous le nom de chlorophylle un mélange de plusieurs matières de compositions différentes, mais cependant voisines.... Cette matière complexe..... est formée d'une substance jaune et d'une substance bleue, la xanthophylle et la cyanophylle, dont les rôles distincts ne nous paraissent pas encore bien démontrés ».

Eh bien, que conclure de ces derniers travaux et de ce court aperçu historique, sinon que le doute et l'obscurité règnent encore sur la matière verte des plantes, malgré plus de *mille travaux* publiés déjà sur cette question !

Comment se reconnaître au milieu de ces matières multiples : *chlorophylle* de PELLETIER et CAVENTOU ; *chromule* de PRINCEPS ; *érythrophylle* de BERZÉLIUS ; *anthocyanine* de BOUGAREL ; *anthoxanthine* de MARQUART ; *xanthophylle* de BERZÉLIUS ; *chlorophyllane* de HOPPE SEYLER ; *chrysophylle* de SORBY et HARTSEN ; *phylloxanthine* de FRÉMY, TSCHIRCH ; *xanthine* de KRAUS, DIPPEL ; *mélanophylle* de HARTSEN ; *phylloxanthéine* de WEISS ; *acidoxanthine* de KRAUS ; *phyllocyanine* de SACHS ; *cyanophylle* de

KRAUS; *hypochlorine* de PRINGSHEIM ; *étioline* de TSCHIRCH ; *protophylline* de TIRMIRIAZEFF ; *protochlorophylle* de MONTEVERDE ; *chromophylle* ; *glaucophylle* d'ETARD ; *chloroglobine* de TSVETT, etc., etc. ?

On a accordé beaucoup d'importance à la question de savoir si la chlorophylle contient, ou non, du fer. Tandis que VERDEIL, BOUSSINGAULT, etc., ont affirmé la présence du fer, ARMAND GAUTIER, HOPPE-SEYLER et MOLISCH (1894) ont démontré que la chlorophylle n'en contient pas trace (1).

Les résultats spectroscopiques relatifs à la chlorophylle sont également encore douteux et incomplets. ANGSTRŒM (1854), KRAUS, CHAUTARD (1873), PRINGSHEIM, HOPPE-SEYLER (1879), REINKE, ENGELMANN (1890), TIMIRJAZEFF, et plus récemment ETARD, sont arrivés à des résultats peu concordants. ETARD a montré que les spectres des chlorophylles des différentes plantes se ressemblent beaucoup, mais que les axes des bandes d'absorption ne coïncident pas et par conséquent que les chlorophylles sont différentes. D'autre part, ces difficultés dans l'étude des chlorophylles n'ont rien que de très naturel, car, dit ETARD, « dans une étude de chimie biologique, il faut, bon gré mal gré, attribuer à la vie une action des plus importantes... A titre de définition, il convient donc de dire qu'aucun chimiste n'a pu avoir la *chlorophylle* qui agit dans les végétaux. Les *chlorophylles*, seules accessibles à l'étude des plus habiles chimistes, ne sont jamais que les pièces plus ou moins importantes qui constituaient la machine vivante, et encore sont-elles altérées à des degrés divers. Leur grande diversité pour chaque espèce végétale montre aussi la diversité de ces chlorophylles en vie que nous ne pouvons directement toucher, car elles en sont les fragments... Je me suis efforcé de préciser ce que j'entends par des chlorophylles vivantes ou mortes, et c'est bien là, en effet, une cause de doute sur la nature des verts chlorophylliens... Qu'il me soit permis de répéter que cette question des chlorophylles n'est pas simple. Par la spectrométrie, elle est d'ordre physique ; par la composition centésimale et les propriétés solutives, elle est chimique ; par la vie, elle est biologique, et il n'est pas possible, en ces matières, de ne s'occuper que d'une seule chose... Ce n'est

(1) Il en est de même pour l'hémoglobine : BRANDE, VAUQUELIN, SCHERER, MULDE, VAN GOUDŒVER, etc., ont prouvé que ce n'est pas le fer qui communique à l'hémoglobine sa coloration rouge.

que par la méthode expérimentale, avec de nombreuses analyses, séparations et mesures spectrales, qu'on donnera à l'opinion du monde savant de nouvelles bases de discussion... Elle contribuera à augmenter presque indéfiniment le nombre des chlorophylles et permettra un jour d'avoir sur ces matières, placées à l'origine de la vie, une plus haute idée d'ensemble ».

Fermons cette parenthèse qui nous a paru nécessaire pour montrer qu'il y a encore matière à occuper les chimistes, et revenons à nos plantes chlorotiques. Pour le moment donc, l'observation directe, sans réactifs violents, peut nous suffire pour ne pas risquer de nous égarer.

Voici ce que nous avons constaté :

Chloroleucites sains. — Dans les feuilles non chlorotiques, les chloroplastes sont toujours plus ou moins arrondis, parfois polyédriques par pression réciproque, à contours et à relief très nets, d'un vert intense et parsemés de nombreux granules amylogènes. La présence des chloroleucites et leur abondance empêchent souvent de distinguer, sans préparation, les autres parties de la cellule (noyau, protoplasme, vacuoles, etc.). Dans les palissades, les chloroleucites tapissent complètement les parois et remplissent aussi partiellement la cavité cellulaire.

Chloroleucites chlorosés au 1^er^ degré. — Au début de la chlorose, les chloroleucites sont encore gros, bien ronds et nettement limités ; mais leur teinte devient moins foncée, leur relief moins sensible, et les granules amylifères sont rares.

Chloroleucites chlorosés au 2^e^ degré. — Au 2^e^ degré, les chloroleucites donnent la sensation, non plus de corps sphériques, mais de plaques circulaires de teinte vert pâle ; leur contour se distingue à peine, et ils ne contiennent plus aucun granule amylifère.

Chloroleucites chlorosés au 3^e^ degré.— Au 3^e^ degré, on ne voit plus que des corps informes, irréguliers, prenant une apparence grumeleuse, pâles, jaunes, sans contours bien apparents. Plaques, gouttelettes et grumeaux se réunissent en amas informes et extrêmement variables comme aspect et volume, au milieu de la cavité cellulaire ; à ce stade, le noyau de la cellule devient plus granuleux et plus visible.

Chloroleucites chlorosés au 4e degré. — Au 4e degré, la dégénérescence est achevée ; les plaques et grumeaux jaunâtres, informes, disparaissent peu à peu et semblent se convertir partiellement en gouttelettes huileuses, d'un jaune pâle, solubles dans l'éther et colorables par la teinture d'alkanna. Ce sont sans doute les mêmes gouttelettes entrevues par A. Gris et signalées par J. Sachs. Si Tsvett avait étudié les feuilles chlorotiques, il aurait pu constater que les gouttelettes de chloroglobine dont il parle (et dont il a provoqué la formation, au moyen de la résorcine, dans les cellules normales) ne sont pas toujours *très vertes*, mais fort *pâles*, difficiles même à distinguer. Ces gouttelettes huileuses, confluentes, s'altèrent à la longue dans une préparation et donnent une matière cristallisable qui n'est autre, selon nous, que l'hypochlorine de Pringsheim. En définitive, les opinions de Sachs et de Pringsheim, citées dans notre résumé des chromophylles, nous paraissent correspondre à nos observations. Chez certaines plantes, comme la Vigne, etc., ces gouttelettes et granules réfringents sont mis en mouvement dans le liquide cellulaire par le choc des corpuscules mobiles qui les entourent.

Il y aurait donc, dans la chlorose, une véritable dégénérescence graisseuse ou huileuse des chloroleucites. Ou plutôt, le chloroleucite chlorosé se décomposerait par disjonction et altération de ses deux éléments constituants : le substratum protoplasmique, l'*éponge* de Pringsheim, tombe en une sorte de déliquescence, mettant en liberté la matière verte, la chlorophylle qui s'altère et se désagrège en gouttelettes huileuses d'hypochlorine. Tsvett a sans doute réalisé, dans ses recherches chimiques sur les chloroleucites sains, cette séparation du substratum albuminoïde et de la matière verte *non altérée* qu'il appelle chloroglobine. Au surplus, Mudler (1844) avait déjà observé que la chlorophylle est toujours accompagnée de corps gras.

Finalement, dans les cellules chlorosées au dernier degré, et sur le point de mourir, tout disparaît et le contenu paraît liquide, uniforme et incolore. Bien entendu, aucun leucite nouveau ne peut se constituer à ce stade. Mais rappelons encore que dans les feuilles, même très chlorotiques, on trouve des

cellules ayant conservé des chloroleucites à tous les degrés d'altération.

Zimmermann, vers 1890-1893, a étudié la régénération des chloroleucites des plantes chlorotiques sous l'influence du fer. Nos conclusions confirment et complètent les siennes.

Zimmermann a, en effet, constaté que dans les cellules chlorosées par manque de fer, les leucites sont de grandeur et de coloration variables selon l'intensité de la chlorose et selon la plante étudiée, mais ils sont toujours plus clairs et plus petits.

Les feuilles fortement chlorosées ne possèdent plus la faculté de reverdir parce que les leucites sont complètement détruits ; tandis que des feuilles moyennement chlorosées peuvent reverdir sous l'action du fer, parce que les leucites persistants peuvent eux-mêmes se revivifier, c'est-à-dire grossir, reverdir et se multiplier. Zimmermann voit donc dans ce fait la confirmation de la théorie de Schnitz et Schimper, d'après laquelle les chloroleucites ne peuvent se développer que par division d'un leucite persistant.

Zimmermann, à l'appui de ses dires, a observé, et figuré en partie, les chloroleucites d'un certain nombre de plantes chlorosées par manque de fer : *Cytisus alpinus*, *Quercus pannonica*, *Rosa*, *Zea mays*, *Canna annei*, *Carya alba*, *Spiræa callosa*, *Cydonia vulgaris*, *Ribes*.

Nous traiterons de l'assimilation chlorophyllienne au chapitre du processus chlorotique.

3° **Amyloleucites**. — Depuis fort longtemps déjà, les physiologistes ont remarqué la diminution et la disparition parallèle des chloroleucites et des amyloleucites dans les plantes dystrophiques. Malgré l'opinion de A. Gris (1857) et de Belzung (1889), qui ont affirmé que les grains d'amidon peuvent servir, en certains cas, de centres formateurs de chloroleucites, il est admis que l'amidon, au contraire, apparaît toujours en petits granules dans l'intérieur des grains de chlorophylle, ou tout au moins à leur surface.

On sait, en effet, que dans le processus de l'assimilation, il se forme des glucoses et que l'amidon naît de ces glucoses quand leur proportion dépasse un maximum donné, variable selon l'espèce considérée (principe de Schimper), mais l'ami-

don peut aussi rétrograder, c'est-à-dire se transformer en glucose. Gerber, entre autres, pense que les hydrates de carbone (matières sucrées, dextrine, amidon, cellulose, etc.) peuvent se transformer en huiles et en corps gras en perdant de l'oxygène. Et de fait, si la plante n'assimile pas ou assimile mal (cas de la chlorose intense), la vie végétale se réduit à des actes respiratoires; au lieu d'être un laboratoire de synthèses, la cellule est seulement un laboratoire d'analyses. En interprétant les analyses de Joulie, G. Coutagne a montré que dans les feuilles de Vigne chlorotiques, il y a, non pas *pléthore* de *substances minérales*, mais *appauvrissement* en *substances carbonées* (hydrates de carbone, etc.), lesquelles sont le produit direct de l'activité de la chlorophylle. Cette pauvreté en amidon, dextrine, sucre, etc., n'a donc rien de surprenant, au contraire.

Zimmermann a étudié avec soin l'amidon dans les feuilles chlorosées par manque de fer. « Il devait être intéressant, dit-il, de chercher dans quelle mesure la décomposition de CO^2 et la formation de l'amidon peuvent être troublées..... Il ressort de ces expériences que les chromatophores, si peu chlorosés soient-ils, ne peuvent pas assimiler ni former de l'amidon avec le sucre de canne qu'on leur fournit, ou du moins ne possèdent cette faculté que très faiblement... L'absence de formation d'amidon aux dépens du sucre amené du dehors est à noter». Nos observations personnelles confirment absolument celles de nos devanciers. Dès le 2e degré de chlorose, on ne voit plus se former aucun amyloleucite aux dépens des chloroleucites altérés; et, dans les 3e et 4e degrés de chlorose, les réactifs, comme l'iode, etc., ne décèlent aucune trace de ces hydrates de carbone. Ce fait est, en somme, un corollaire de la désagrégation chlorophyllienne.

4° Hydroleucites (Suc cellulaire). — Dans les feuilles non chlorotiques, le suc cellulaire est peu abondant dans les cellules, et sa réaction est toujours très acide.

A mesure que la chlorose augmente d'intensité, les hydroleucites ou vacuoles se multiplient, s'agrandissent ; mais sous l'influence de l'intensité de la transpiration de la feuille et de l'apport incessant de substances minérales, le suc cellulaire

devient plus dense et plus concentré ; comme, d'autre part, le protoplasme et les chloroleucites sont eux-mêmes en décomposition, il se produit en définitive dans la cellule chlorotique un mélange progressif de tous ces corps décomposés. La cellule intensément chlorosée devient pour ainsi dire une grande vacuole, une poche remplie de suc impur et de matières cellulaires altérées. A ce moment, et surtout si le calcaire est absorbé abondamment, la réaction du suc cellulaire devient beaucoup moins acide, souvent neutre et parfois même légèrement alcaline, surtout dans les périodes de forte chaleur qui, en évaporant trop activement l'eau de la feuille, concentre les solutions et dessèche les cellules.

Nous reviendrons sur ces altérations du suc cellulaire dans notre exposé du processus chlorotique.

5° **Protoplasme.** — Le protoplasme des cellules chlorotiques est lui-même manifestement altéré ; il tombe pour ainsi dire en déliquescence. Et comme il constitue la partie essentiellement vivante de la cellule, on peut dire qu'il est gravement malade et enfin qu'il meurt, pour ensuite se décomposer et se mélanger au suc cellulaire et aux résidus des leucites.

Il est d'ailleurs aisé de constater directement l'altération protoplasmique. Au début de la chlorose, les chloroleucites et le noyau sont encore tous bien agencés et, entourés de cytoplasme, ils tapissent complètement les parois de la cellule. Dans les cellules très chlorotiques, la disposition est toute différente : les débris de la chlorophylle et du noyau forment, en pleine cavité cellulaire, un amas grumeleux mal délimité, diffus, qui s'évanouit à son tour. L'altération et la dégénérescence liquéfiante du protoplasme dans la chlorose intense sont pour nous des faits avérés.

6° **Noyau.** — Le noyau, d'après nos observations, se voit bien, sans préparation, dans les cellules chlorotiques aux 1er et 2^{e} degrés. Dans les cellules saines, il ne se voit pas directement, par suite de l'épaisseur et de l'opacité de l'écran chlorophyllien. Dans les cellules très chlorotiques, le noyau, après avoir avoir pris un aspect extrêmement granuleux, comme piqueté d'une infinité de points noirs résultant peut-être de la subdivi-

sion anormale du filament chromatique, devient ensuite diffus et disparaît graduellement. Néanmoins, c'est lui qui semble résister et se conserver vivant le plus longtemps et le dernier dans la cellule. Il est bien évident que dans les feuilles chlorotiques, les phénomènes de caryocinèse sont suspendus et parfois abolis par suite de l'état morbide général de l'individualité cellulaire, et c'est pour cela que la croissance des feuilles très chlorotiques est si lente.

7° Cristaux intracellulaires. — Nous nous trouvons ici en présence de données contradictoires.

La présence du carbonate de chaux ayant pour effet immédiat de précipiter les acides organiques sous forme de sels insolubles, nous devons nous attendre à trouver beaucoup plus de cristaux dans les cellules chlorotiques. Les cristaux d'oxalate de chaux, surtout, devront prédominer. Nous ne pouvons affirmer, s'il y a, par contre, diminution des bitartrates par arrêt dans la transformation des oxalates en tartrates. Mais nous savons, d'après les recherches de Bertrand et Mallèvre, que le pectate de chaux se forme en abondance aux dépens des acides pectiques, sous l'influence de la pectase, et qu'il va se déposer en molécules amorphes dans la membrane cellulaire qu'il contribue à minéraliser et à imperméabiliser. Dans les tissus chlorosés de la Vigne, dit Viala, « il y a abondance de sels de chaux, oxalate, tartrate, etc. ; les raphides sont très abondants, ainsi que les macles, etc., et souvent de petits cristaux prismatiques sont en si grand nombre qu'ils obscurcissent les coupes sous le microscope ». « L'observation microscopique, dit J.-M. Guillon, nous a permis de constater que dans les tissus des parties reverdies.... on trouvait beaucoup moins de cristaux de sels de chaux (raphides, macles, cristaux prismatiques, etc.) que dans ceux des témoins restés jaunes ». Ces résultats correspondent assez à la réalité, en ce qui concerne la Vigne, bien que Cazeaux-Cazalet semble d'une opinion un peu différente.

Dans nos examens microscopiques, nous n'avons toutefois trouvé de cristaux plus abondants dans les plantes chlorotiques que chez la Vigne, le *Sempervivum* (feuilles pâles des

sols très calcaires), le *Galeopsis* (mêmes conditions) et le Lupin.

Dans cette dernière plante, les cristaux d'oxalate de chaux, formés surtout au voisinage de certaines cellules oxaligènes, sont relativement abondants. Dans le *Sempervivum*, nous avons toujours rencontré de très nombreux petits cristaux octaédriques ou pseudo-cubiques de carbonate de chaux, qui se dissolvent avec effervescence vive dans l'acide chlorhydrique dilué.

Ces faits, en quelque sorte prévus, n'ont rien que de très normal. Mais, dans la plupart des autres plantes que nous avons examinées, nous n'avons pas remarqué de prédominance bien marquée des cristaux dans les feuilles chlorotiques. Cela tient, d'après nous, à ce que les dépôts minéraux sont amorphes, translucides, et entrent surtout dans la constitution de la membrane ; et aussi, à ce que les sécrétions acides sont épuisées et ralenties, après avoir d'abord été exagérées, par suite de l'impuissance à neutraliser tous les sels alcalins et calcaires absorbés.

8° **Cristalloïdes protéiques.** — Nous sommes ici en présence d'une question extrêmement délicate. Un certain nombre d'auteurs ont décrit, dans les cellules végétales, de très petits plastides, cristallisés ou non, qui seraient de nature protéique ou albuminoïde. Nous allons d'abord rappeler les principaux travaux de ces auteurs.

C'est Hartig qui a découvert en 1856 les cristalloïdes albuminoïdes. Radelkofer (1859), Cohn (1860), Nægeli (1862), ainsi que A. Trécul, Maschke, Klein, Kramer, Portes, etc., ont étudié aussi les corps albuminoïdes cristallisés, notamment les grains d'aleurone (1). D'autres expérimentateurs ont réussi à extraire chimiquement des tissus certaines substances protéiques et à les reprécipiter en cristaux.

Schimper, en 1878 et 1881, a donné une étude complète des

(1) L'aleurone a été également étudiée par Holle, Radelkofer, A. Gris, Pfeffer, Rafinesque, etc.

cristalloïdes. Les cristalloïdes ont *une seule* propriété caractéristique, c'est l'imbibition, l'absorption de l'eau dans leur intérieur ; cette eau, en les gonflant, changerait parfois leur forme, et on obtiendrait alors des corps bizarres, bactériformes, etc., mais toujours très ténus.

Des formations bactéroïdes ont été étudiées simultanément par Lenhossek et Prénant en 1897, dans les ganglions sympathiques du Hérisson. Vogelsang, qui découvrit en 1864 les microlithes et les cristallithes des roches, les a rapprochés, en 1867, des cristalloïdes végétaux de Nægeli.

Le choix du mot *cristalloïde*, dit L. Maillard dans une étude récente (*Revue gén. des Sciences*, 1898), «n'est pas très heureux, car il semble désigner quelque chose qui aurait l'apparence d'un cristal, sans l'être, sans en avoir la structure intime ; et les biologistes, que leurs études ont habitués à rencontrer des formes de passage embryonnaires, pourraient être tentés, s'ils prenaient ce terme dans son sens étymologique, de considérer les cristalloïdes comme des intermédiaires entre la matière vivante amorphe et la matière cristallisée. Ceci ne serait pas juste... Les cristalloïdes, tels qu'ils ont été étudiés dans les plantes par Nægeli et Schimper, ne sont qu'un groupe de la classe des cristaux... Que la formation des cristalloïdes ait été vitale ou artificielle, si les formes irrégulières en étaient des résidus, les cristalloïdes de la micrographie pourraient donc constituer des séries régressives, des cadavres de cristaux à différents stades de destruction. C'est aux recherches biologiques qu'il appartient de décider dans chaque cas l'interprétation admissible... La régularité plus ou moins géométrique de leurs formes est à elle seule impuissante à fournir ces données chronologiques de si haute importance pour la physiologie cellulaire ».

Zimmermann est l'un des auteurs récents qui ont le mieux étudié les corpucules protéiques intracellulaires. Voici le résumé de ses principales observations :

Il a découvert dans les cellules chlorophylliennes des corpuscules de forme, de taille et de nombre très variables suivant les plantes et auxquels il a donné provisoirement le nom de *granules*. La place de ces granules dans la cellule est très variable. D'après ses recherches sur le *Tradescantia discolor*, il a conclu que les granules ne sont composés que de matières protéiques dans le sens le plus large. Ce n'est pas de l'amidon, comme on pourrait le supposer, car ils sont colorés en jaune et

tion en violet par l'iode. Ce ne sont pas non plus des corps gras, puisqu'ils sont insolubles dans l'éther, le xylol, etc. Leur grande répartition prouve leur importance dans les réactions chimiques des plantes, et ils auraient, en particulier, des rapports avec la formation de l'albumine ou des réserves albuminoïdes; mais ZIMMERMANN n'a pu conclure sur ce point d'une façon précise. Il y aurait aussi, peut-être, un rapport entre la grandeur des granules et l'assimilation de l'azote? Ayant mis des extrémités de plantes dans l'eau distillée et dans l'eau salée, il a constaté, dans le premier cas, la présence de nombreux granules dans le parenchyme lacuneux, mais aucun dans le parenchyme en palissade; dans le second liquide, les granules étaient nombreux partout. Les noyaux des cellules contiennent aussi des cristaux protéiques qui ont beaucoup de rapports avec les cristaux décrits plus haut. Ces granules et corpuscules protéiques sont de forme arrondie. « Dans un cas seulement, dit ZIMMERMANN (1), je trouvai, dans les feuilles jeunes du *Polypodium ireoides*, des granules qui n'avaient pas la forme ronde ordinaire. Ils étaient tantôt de forme allongée, tantôt ils avaient la forme de bâtonnets droits ou courbes, munis d'une tête à une extrémité et parfois aux deux bouts... Il est possible que les granules ne soient que des stades de développement, ou bien que la différence de forme des granules et des corpuscules allongés soit produite par des cristalloïdes avortés? On avait cru jusqu'à ces dernières années que les cristalloïdes extérieurs au noyau et aux chromatophores étaient tous contenus dans le cytoplasme, mais WAKKER montra que dans plusieurs cas les cristalloïdes prenaient naissance dans le suc cellulaire. Les expériences que j'ai faites moi-même m'ont montré aussi que les cristaux protéiques sont aussi contenus dans le suc cellulaire... ». Dans ces expériences, ZIMMERMANN a observé que ces cristalloïdes du *Polypodium* sont animés de rapides mouvements oscillatoires et de mouvements lents translatoires. Nous en reparlerons dans le paragraphe suivant.

Sans nier l'existence et l'importance des cristaux protéiques, puisque nous en avons observé très souvent dans nos préparations, nous pouvons affirmer que l'exemple du *Polypodium ireoides* n'est pas isolé. *Les corpuscules allongés et mobiles se trouvent*

(1) Nous donnons ici la traduction exacte du texte allemand.

dans presque toutes les plantes, même dans les plantes saines. Si Zimmermann et les autres observateurs ne les ont pas signalés, c'est précisément parce que les réactifs qui ont servi aux préparations, aux colorations, etc., ont altéré et tué ces corpuscules ; tandis que l'observation dans l'eau pure permet de les voir très bien. Nous allons reprendre et développer maintenant la question spéciale des corpuscules *mobiles*.

9° Corpuscules mobiles ou Microorganismes ? — Nous avons apporté toute notre attention à l'examen des corpuscules mobiles et à la question si controversée de savoir s'il peut exister dans les cellules végétales des microorganismes vivant en parasitisme ou seulement en symbiose.

Nous procéderons, comme précédemment, en donnant d'abord un aperçu des travaux antérieurs, puis en exposant les détails de nos observations personnelles.

Dès 1857, Béchamp a noté, dans les fermentations de sucre de canne, l'apparition de « petits corps » (granulations moléculaires des auteurs), et leur a attribué la fonction de produire l'inversion.

En 1865, Trécul a découvert, dans les tissus végétaux macérés, des organismes amylifères qu'il a appelés *Amylobacter* et dont il a distingué trois formes : en cylindre (*Amylobacter* vrai), en fuseau (*Clostridium*) et en têtard (*Urocephalum*). Suivant Trécul, ces corps naissent spontanément du protoplasma.

En 1866, Béchamp a affirmé que le vieillissement des vins est dû à de petits organismes qui succèdent au ferment alcoolique. Ces êtres sont très petits, très mobiles ; ce sont des granulations ; et, dans un travail fait avec Estor, il a posé les bases de sa théorie des *microzymas*.

En 1879, Van Tieghem, ayant repris l'étude des organismes de Trécul, a montré que ce sont trois formes du *Bacillus amylobacter*, anaérobie. Ce bacille peut pénétrer dans les cellules à travers la membrane, se charge d'amidon, dissout la cellulose et la fait fermenter avec dégagement de gaz. C'est donc le ferment figuré de la cellulose. Ses spores résistent à + 100°. Les cellules à membrane transformée ou incrustée résistent à son attaque. L'amylobacter ne dissout pas les grains d'amidon, mais seulement la cellulose. Il y a, selon Van Tieghem, un organisme qui

dissout les grains d'amidon, un autre qui transforme et saponifie les matières grasses, un autre qui attaque et rend solubles les matières albuminoïdes. Il faut le concours simultané ou successif de ces quatre organismes pour venir à bout d'une cellule. L'amylobacter transforme d'abord l'amidon soluble en dextrine, puis en glycose. C'est la glycose qui, en définitive, fermente. Il en est de même pour la cellulose. Dans ces fermentations, il se dégage du CO^2 et de l'H, et il se produit un acide qu'il faut neutraliser par le CO^3Ca au fur et à mesure qu'il se forme, sous peine de voir l'acidité croissante du milieu empêcher bientôt le développement de l'amylobacter.

En 1879, Prillieux a décrit pour la première fois des microorganismes attaquant les plantes vivantes. Dans la maladie du Blé rose, la cellulose est gélifiée et dissoute par des *Micrococcus*. Ces bactéries attaquent aussi l'amidon, le gluten et les parois cellulaires.

En 1881, T.-J. Burrill, dans l'Etat de l'Illinois, a appelé *blight* une maladie des Poiriers et Pommiers, dont il a attribué la cause à une bactérie ou plutôt à un *Micrococcus* de 1 μ de long. Le *Micrococcus*, aux points infestés, est logé *dans* les cellules du végétal, aux dépens desquelles il se nourrit, en absorbant surtout l'amidon. D'autres maladies causées par des bactéries existeraient aussi, selon Burrill, chez le Pêcher, le Peuplier, le Tremble, etc.

En 1882, Hartig a déclaré qu'il n'y a pas de maladies bactériennes des plantes. Les recherches ultérieures ont démontré l'erreur de cette affirmation.

En 1882 aussi, A Béchamp a développé sa théorie très curieuse des *Microzymas*. Il a donné ce nom à certaines formes organiques, assez semblables aux granulations que l'on rencontre dans le protoplasme des animaux et des végétaux ; étant renfermés dans des cellules et en faisant partie, ils y prennent, sans aucun doute, naissance. Ce sont eux qui, devenus libres par la mort de la cellule ou pour tout autre motif, peuvent continuer à vivre et à se développer et, quand on leur fournit un liquide nutritif convenable, sont susceptibles de se transformer en bactéries ou en tout autre champignon microscopique. Selon Béchamp, non seulement les microzymas peuvent survivre à la cellule qui leur a donné naissance, mais leur existence peut remonter, d'autre part, jusqu'aux périodes géologiques anciennes. La théorie de Béchamp n'a pas été acceptée par le monde scientifique.

En 1883, dans sa *Botanique cryptogamique*, Léon Marchand a exposé les principales théories émises par les auteurs sur la formation et l'existence des microorganismes végétaux. Selon lui, le blastème ou la glaire, l'*Urschleim* d'Oken, peut être considéré comme la matière première, l'ébauche d'organismes plus élevés. Il ajoute : « Balsamo-Crivelli et L. Maggi, qui appellent *miéline* ce que nous avons désigné sous le nom de glaire, etc., la regardent comme le *substratum* de tout microphyte et comme pouvant s'organiser et donner ce qu'ils appellent les *formes* miéliniques ».

Ces théories sont évidemment trop exagérées et fantaisistes. Mais Marchand a admis l'existence des *granulations moléculaires*, dont les plus petites ont 0 μ 5 et les plus grosses 3 μ. Il ajoute que ces granulations rappellent « vaguement certaines Bactéries sphériques qui, malgré ce qu'en peut dire M. Chauveau, seraient peut-être des *micrococcus* et peut-être, en même temps, ces corps que les chimistes, peu experts en histologie, ont nommés *germes brillants, corpuscules brillants, cystoblastions*. Ils ont les mêmes formes, les mêmes dimensions, la même apparence, et on les rencontre les uns et les autres dans les mêmes circonstances. Ils jouissent des mêmes oscillations et trépidations sur place, des mêmes phénomènes de propulsion et de recul, mouvement qui, suivant l'*idée qu'on se fait* des choses, est nommé mouvement brownien par les uns, mouvement vital par les autres.

»La distinction est, il faut le reconnaître, fort difficile ; on en comprendra bientôt la raison. Pour l'instant, la meilleure preuve que nous puissions donner de la difficulté où l'on est de faire la distinction, c'est celle que nous fournit M. Chauveau qui, après avoir nié tout rapport entre les Bactéries et ses granulations moléculaires, a fini par admettre qu'elles faisaient partie du même groupe de ferments et qu'elles étaient vivantes les unes comme les autres».

Marchand range, parmi ses *protophytes amorphes*, les « matières semi-liquides, organisables : glaires, lymphes, blastèmes, zymases, miélines, *Urschleim*, sarcodes, protoplasmes, matières de vie, composés vitaux, etc. », de même que les *globulins* de Turpin, les *microzymas* de Béchamp, les *corpuscules brillants* de Pasteur, les *leucites* des botanistes, les *cystoblastions*, etc.

En 1883-84, J.-H. Wakker a étudié la *maladie jaune* des Jacinthes, causée par un *Bacterium* qui, du bulbe, remonte, au moment de la floraison, dans les feuilles dont il détruit peu à peu les cellules pour venir percer l'épiderme et se répandre au dehors.

En 1884, Van Tieghem est parvenu à amener la destruction complète de tubercules entiers par le *Bacillus amylobacter*, en introduisant ce dernier dans l'intérieur d'une Pomme de terre maintenue à 35°. Des résultats analogues ont été obtenus sur des graines de Haricots, des tiges de *Cactus*, etc.

En 1884, A. Wigand a exposé des théories analogues à celles de Béchamp. Des particules prises dans des organismes vivants ou morts peuvent, dans certaines conditions, se transformer en Bactéries. Wigand, «pour dissiper tous les doutes sur la formation spontanée des Bactéries dans le protoplasma des cellules», a affirmé que les cellules vivantes et saines des feuilles du *Trianea bogotensis* (plante d'eau douce) et les poils des Labiées renferment des Bactéries mobiles. De Bary a remarqué aussi ce fait. Mais il a montré que les Bactéries «superbes, les plus belles qu'il soit possible de voir», du *Trianea* se dissolvent et disparaissent, à l'encontre des véritables Bactéries, dans une goutte d'acide dilué ! Ce sont donc simplement des petits cristaux d'oxalate de chaux, de même que les prétendues bactéries des jeunes poils des feuilles du *Galeobdolon luteum*, du *Salvia glutinosa* et autres Labiées. Toutefois, ajoutait De Bary, l'observation de Wigand «demanderait à être reprise avec soin».

En 1885, dans ses célèbres *Leçons sur les Bactéries* (1), De Bary a émis des considérations fort importantes. Nous noterons seulement celles qui nous intéressent. D'abord, il a signalé plusieurs microbes (*Bacillus*, *Spirillum*, *Micrococcus*, *Leptothrix*) qui donnent la réaction de l'amidon, ou, plus exactement, de la granulose (coloration en bleu indigo dans une solution aqueuse d'iode). Puis il a posé la question de l'espèce chez les Bactéries.

Depuis la découverte des Bactéries par Leeuwenhoek en 1722, les micrographes, notamment Ehrenberg (1838, etc.), ont tous reconnu plusieurs espèces. En 1870, Ferd. Cohn a revisé et classé *provisoirement* les formes décrites avant lui, en genres *Micrococcus*, *Spirillum*, *Spirochæte*, etc. Mais ces genres et espèces créés *d'après la forme* correspondent-ils réellement aux genres et espèces naturels? Cohn a réservé cette question. Dans une théorie complètement opposée, d'autres auteurs ont mis en doute

(1) Le livre de De Bary ainsi que celui du Dr A. Magnin (*les Bactéries*, 1878) contiennent de bonnes bibliographies de la question des Bactéries.

l'existence d'espèces distinctes chez les Bactéries. D'après eux, les formes diverses proviennent les unes des autres par une série de variations successives, et peuvent passer de l'une à l'autre par des changements survenus dans les conditions vitales. En 1874, Billroth a réuni même toutes les Bactéries dans une espèce unique : *Coccobacteria septica*. Cette manière de voir est adoptée, depuis 1874, avec réserves toutefois, par Nægeli et son école. D'après Nægeli, dans le cours des siècles, une forme d'une bactérie acquiert la propriété de produire l'acidité du lait; une autre de faire de l'acide butyrique dans la choucroute ; une troisième, de gâter le vin. D'autres altèrent l'albumine, décomposent l'urée, colorent en rouge les matières amylacées. Les mêmes formes donnent le typhus ou la fièvre récurrente, ou le choléra, ou la fièvre intermittente, etc. Cette théorie n'a pas été acceptée complètement. Cependant, De Bary a vu le *Bacillus megaterium*, placé dans des conditions nutritives défavorables, diviser en partie ses articles, les arrondir après cette division et former de la sorte des espèces de *Micrococcus* ; il a constaté aussi que la distinction entre les *Micrococcus* et les *Bact rium* à courts bâtonnets ne peut être faite que d'une façon incertaine. Les *formes de passage* entre les diverses bactéries ont été réunies par Nægeli sous le nom de *formes d'involution*. «Il n'est pas facile, dit De Bary, de décider si ce sont là des formes de régression, ou bien si ce sont des formes maladives... Il n'y a pas que le choix de la nourriture qui influe sur la nutrition des Bactéries, d'autres propriétés chimiques du substratum peuvent aussi avoir leur influence. On sait depuis longtemps que, contrairement à ce qui se passe chez les Levures et les Moisissures, le plus grand nombre des Bactéries prospère très bien dans un milieu neutre, faiblement alcalin ou du moins excessivement peu acide.» Cependant, le *Bacterium* du Kéfir pousse très bien dans le lait acidifié, de même le *Micrococcus aceti* pousse également dans un liquide acide, puisqu'il décompose le vinaigre une fois qu'il l'a formé. De Bary a aussi envisagé la question des Bactéries dans les plantes vivantes : «Une question qui présente, dit-il, un intérêt considérable est celle de l'existence des germes dans les organismes vivants pris dans l'état de santé... Les plantes supérieures leur donnent probablement accès par les ouvertures qui se trouvent sur leur épiderme, par les stomates en particulier. Ils peuvent ainsi pénétrer jusqu'au tissu cellulaire interne...». De Bary conclut que «les Bactéries saprophytes sont susceptibles, *dans*

certaines conditions, de vivre, à l'état de parasites facultatifs, *dans les tissus vivants des plantes* et d'y faire naître des maladies parfois mortelles».

En 1886, E. Strasburger a montré la grande tendance de nombreux végétaux inférieurs, des Nostocacées notamment, à vivre en symbiose. Il a signalé l'*Anabæna Azollæ*, qui vit dans les grandes lacunes des feuilles de l'*Azolla*. Il a étudié aussi les mouvements des Oscillariées.

En même temps, J.-C. Arthur, en Amérique, a étudié les maladies bactériennes des Poiriers.

En 1887, L. Savastano, en Italie, a démontré l'existence de Bactéries dans la tuberculose de l'Olivier.

En 1889, Wakker, en Hollande, a publié d'intéressantes recherches de pathologie végétale. Il a montré d'abord que la maladie du *jaune* des Jacinthes est bien produite par des bactéries qui envahissent les tissus. Les bulbes seuls sont attaqués. Ces bactéries sont des parasites *facultatifs*. Wakker s'est étendu sur les questions de réceptivité et d'immunité individuelles. Il a rappelé, après Hartig (1882), Beyerinck (1883), Wiesner (1885), etc., qu'il faut un *ferment* pour altérer et tuer les tissus. Ces ferments sont produits par des bactéries, des moisissures, etc.

En 1890, Vuillemin (*Rev. gén. des sciences*) a attiré de nouveau l'attention sur les maladies microbiennes des plantes, qui sont, dit-il, «loin d'être une quantité négligeable». Après avoir rappelé le rôle des microbes dans la décomposition des plantes mortes, il a passé en revue les maladies causées par des microorganismes chez les plantes vivantes : la corrosion bactérienne des grains de Blé *roses* (Prillieux) ; la tavelure bactérienne des Orangers et la pourriture des grains de raisin (Savastano) ; la morve des Oignons (Sorauer) ; la pourriture des Pommes de terre ; les écoulements muqueux des arbres ; le jaune des Jacinthes ; la pourriture des Tabacs ; la brûlure des Poiriers, Pommiers, Cognassiers et *Cratægus* (causée par le *Micrococcus ? amylivorus* de Burrill) ; la tuberculose de l'Olivier ; les bactériocécidies du Pin d'Alep, etc.

En 1890, Emile Laurent a montré l'analogie des microbes des Légumineuses avec les *Pasteuria* qui, à certains égards, sont intermédiaires entre les Bactéries et les Champignons.

En 1890 également, Altmann a émis sa *théorie granulaire* du protoplasme. Considérant les granules du protoplasme comme des organismes élémentaires extrêmement petits, dont se com-

pose la cellule même, il leur a donné le nom de *bioblastes*, leur a attribué la texture d'un cristal organisé, et les a regardés comme ayant la même valeur que les microorganismes qui se disposent comme éléments distincts en amas dans une zooglée, ou bien en série dans un filament. Le bioblaste serait donc l'unité morphologique de toute matière organisée; c'est à lui qu'il faut ramener, en dernière analyse, toutes les considérations biologiques. Cependant, le bioblaste de la cellule est incapable de vivre isolément; il meurt avec la cellule; mais dans la cellule, ainsi que l'admet Altmann, il ne se multiplie que par division : *omne granulum e granulo.*

En 1891, Winogradsky a décrit les Nitrobactéries, telles que la *Nitrosomonas europœa* de la terre de Zurich, en cellules ovoïdes ou ellipsoïdes qui deviennent plus allongées quand l'accroissement est rapide. Ces microorganismes vivent isolés ou groupés en zooglées (formes immobiles). Toute modification utile à l'organisme favorise la production des zooglées. Pas de spores connues.

En 1890-91, W. Beyerinck a étudié et cultivé sur gélatine des Algues vertes unicellulaires d'eau douce : *Chlorella vulgaris*, *Scenedesmus acutus*, etc. Dans *Scenedesmus*, qui sécrète un enzyme tryptique, la cellule entière est verte et constitue pour ainsi dire un grain chlorophyllien. Dans *Chlorella* (qui sont très semblables aux Zoochlorelles des *Hydra*, *Paramœcium*, *Spongilla*, etc.) il y a des cellules incolores au milieu des vertes. La division s'opère, dans certains cas, par segmentation, comme celle des grains chlorophylliens ordinaires. On sait que les chlorelles de l'Hydre, des Paramécies, etc., se trouvent non *entre* les cellules de l'entoderme, mais *dans* ces cellules, et même, d'après Hamann, *dans les cellules reproductrices.*

Nous verrons plus loin à quelle hypothèse curieuse ces faits nous ont fait songer.

En 1892, Dixon cherche à montrer que les Bactéries manquent toujours dans les tissus sains. Il recueille une prune presque mûre, et, après l'avoir lavée au sublimé, il l'introduit dans un vase renversé sur un bain de mercure. Après trois mois, elle ne présentait aucune trace de microorganismes. Ces résultats ont été confirmés depuis par d'autres expérimentateurs français ou étrangers.

Le professeur Boutroux, qui publie chaque année la *revue des travaux de bactériologie* dans la *Revue générale de botanique*, a

étudié aussi la dissémination des germes de levures à la surface des fruits et des fleurs.

En 1893, Zimmermann a décrit les mouvements qui animent des corpuscules mobiles intracellulaires dans l'épiderme des feuilles fraîches de *Polypodium ireoides* : « Ce mouvement, dit-il, avait quelque chose de tremblotant et de saccadé ; les cristalloïdes (abstraction faite de ce mouvement oscillatoire) tombaient en suivant la perpendiculaire jusqu'à ce qu'ils rencontrassent la membrane opposée, pendant que le noyau et les chromatophores ne changeaient pas sensiblement de place. Si le porte-objet était renversé, le mouvement se reproduisait, et l'espace cellulaire était parcouru en une, deux ou trois minutes..... Nous savons, d'après Dehnecke (1880) et Heine (1885), que les chloroplastes remplis d'amidon exécutent, dans certaines circonstances, des mouvements très répandus dans le sens de la pesanteur, et qu'ils peuvent asssi parcourir la cellule qui les contient en quelques minutes. Pour pouvoir établir une différence caractéristique entre ces deux mouvements (des cristalloïdes protéiques et des grains d'amidon), j'observai d'abord les mouvements du chloroplaste au moyen du microscope horizontal et j'employai dans ce but des coupes tangentielles de la tige du *Phaseolus multiflorus*. Les chloroplastes atteignirent la paroi opposée en 15 à 20 minutes en moyenne. Un examen exact du groupement des chloroplastes me montra qu'ils ne suivaient jamais exactement la perpendiculaire, mais que souvent ils exécutaient de larges mouvements obliques, et même par places ils se dirigeaient de bas en haut. Les mouvements des chloroplastes contenus dans le cytoplasma diffère donc déjà beaucoup de celui des cristaux protéiques. Un signe distinctif et important entre les deux mouvements consiste en ceci, comme il fallait s'y attendre *a priori*, que le mouvement à l'intérieur du cytoplasme était suspendu aussitôt qu'il avait été tué par l'iode, tandis que les cristalloïdes ne perdaient nullement leur faculté de se mouvoir..... D'après les expériences précédentes, je crois avoir acquis une preuve suffisante que les cristalloïdes de l'épiderme du *Polypodium ireoides* sont contenus dans le suc cellulaire. Il est très vraisemblable que les autres cristalloïdes observés en dehors du noyau dans quelques Fougères sont aussi contenus dans le suc cellulaire, mais cette manière de voir mérite d'autres expériences affirmatives ».

En 1894, Kochs, après Dixon, a cherché à résoudre la question de la présence de microorganismes dans les plantes saines. Il a

semé des graines de Cresson, Haricot, Blé, etc., dont la surface a été préalablement stérilisée, dans des milieux absolument privés de bactéries, en s'entourant de toutes les précautions. Les plantes ont vécu pendant 14 mois, et ont fini par périr dans l'espace où elles étaient emprisonnées. Durant cette longue période, on n'a pas observé de fermentation ou de putréfaction. La germination et les phénomènes ultérieurs de la croissance s'accompliraient donc sans le secours des bactéries.

Vers la même époque, DEBRAY a étudié dans la Vigne,etc., un parasite myxomycète plasmodique, qu'il a appelé *Pseudocommis vitis*. Il a signalé ce *Pseudocommis* dans les feuilles jaunissantes et dans les tubercules de la Pomme de terre. Avec VIALA et SAUVAGEAU, il a constaté la disparition de la fécule dans les cellules de la Vigne envahies par ce parasite. Ce plasmode (1) n'a pas de mouvement sensible. Depuis, DEBRAY a cru constater le *Pseudocommis* sur plus de 70 plantes très diverses.Nous disons on a *cru* constater, car l'individualité réelle de ce parasite ne nous paraît pas absolument démontrée.

En 1896, ERWIN F. SMITH a publié (*in*: *American naturalist*) une revue des maladies microbiennes des plantes.

En 1896 aussi, MANGIN a discuté (*Revue gén. des Sc.*) l'existence de microorganismes dans les tissus vivants : « La question relative à la présence ou l'absence de microorganismes dans les cellules vivantes a, dit-il, une importance physiologique considérable.... PASTEUR annonça que les tissus sains, protégés par un épithélium intact, sont privés de germes.... Non seulement ses idées sur le rôle des bactéries et des levures dans la putréfaction, la fermentation, et dans un grand nombre de maladies parasitaires, sont acceptées aujourd'hui, mais les « ralliés » à la doctrine et aux méthodes nouvelles dépassent le but et vont jusqu'à prétendre que les microorganismes existent dans l'organisme sain. Les cellules vivantes ne seraient plus que des milieux de cultures favorables au développement de ces organismes qui seraient chargés d'accomplir toutes les fonctions de la vie....». MANGIN croit pouvoir conclure que les tissus vivants ne renferment pas de bactéries.

Mais, en 1897, E. ROZE a signalé, *dans* les cellules des tubercu-

(1) Ces plasmodes, peu visibles, se colorent en jaune orangé par le chloro-iodure de zinc.

les de la Pomme de terre, un nouveau microcoque parasite des grains de fécule. Après l'action de ces microcoques, les Mucédinées envahissent les cellules, puis les grains de fécule respectés sont envahis par de nouveaux parasites spéciaux, qui vivent à leurs dépens. Ces parasites sont des Myxomycètes microscopiques. Roze a étudié dans ses nombreux travaux un grand nombre de microcoques et autres microorganismes vivant dans les plantes.

En 1898, L. Maillard, dans ses études sur les cristalloïdes protéiques, a obtenu expérimentalement des corps bactéroïdes dont il ne signale ni ne décrit les mouvements.

En même temps, Prillieux et Delacroix en France, Paul Nypels en Belgique, ont décrit la *jaunisse*, maladie bactérienne de la Betterave. Cette maladie a causé de grands dégâts en 1896, dans le nord de la France, et a été observée aussi en Allemagne par Sorauer.

« On peut se demander, dit Nypels, s'il y a un rapport entre la gommose bacillaire et la jaunisse des feuilles ».

« Si l'on examine au microscope, disent Prillieux et Delacroix, les feuilles malades, on voit facilement *dans les cellules* qui correspondent aux régions décolorées de la feuille de très nombreuses bactéries courtes, en forme de tonnelet, tourbillonnant rapidement dans le liquide cellulaire. Les corps chlorophylliens se décolorent et leurs contours deviennent moins marqués que dans les cellules restées intactes ; les granulations y sont plus réfringentes, plus apparentes qu'à l'état sain...».

Diverses maladies bactériennes de la Betterave avaient été déjà décrites par E. Kramer, J.-C. Arthur et K.-C. Golden, puis par Bolley et par Hiltner.

En 1898-1899, Emile Laurent, dans ses remarquables *Recherches sur les maladies des plantes* et la pourriture bactérienne (*Ann. de l'Institut Pasteur*), a étudié la présence et la pénétration des microbes dans les cellules vivantes. Cette pénétration se fait à la faveur d'une diastase (cytase) qui dissout les lamelles mitoyennes des cellules et qui, chez la Pomme de terre, n'a d'action que dans un milieu à réaction alcaline ou légèrement acide. Il y a, en même temps, digestion de la cellulose et contraction, puis mort, du protoplasme. « C'est aux substances solubles autres que la cytase qu'il faut attribuer, sans conteste, la diminution de vitalité des cellules... Ainsi altérée, la matière vivante est sans défense devant la pénétration microbienne.... En réalité, les sécrétions

du bacille jouent ici un grand rôle absolument comparable aux toxines animales. Il faut nous attendre à trouver que ces sécrétions vont avoir une action défavorable sur la résistance des variétés les plus rebelles aux microbes. L'expérience a encore confirmé cette prévision... Dans le cours de ces recherches, mon attention a été attirée par certaines affections microbiennes des plantes » , telles que l'altération gommeuse des tubercules de *Cattleya Mossiæ* (Orchidée), la pourriture des Tomates en Belgique, etc. Laurent rappelle à ce propos le *Bacillus caulivorus* de Prillieux et Delacroix, qui vit dans les tiges de Pomme de terre, de *Pelargonium*, dans les feuilles de *Begonia*, de *Gloxina*, etc., et le *Bacillus solanacearum* d'Ervin F. Smith, qui se développe dans les organes de la Pomme de terre, de la Tomate et de l'Aubergine ; il cite des bactéries banales très répandues dans la terre et qui peuvent acquérir des aptitudes parasitaires pour les plantes supérieures. « Il en est sans doute beaucoup d'autres ; plusieurs des bactéries décrites par différents auteurs comme parasites des végétaux me paraissent appartenir à cette catégorie ». Laurent décrit aussi les relations entre l'alimentation minérale des plantes et leur résistance aux parasites, et rappelle la symbiose fréquente des microbes et des moisissures.

En 1899, Domingos Freire a signalé des microbes chromogènes, pathogènes, osmogènes, etc., des fleurs.

En 1899 aussi, le Dr Wollny, dans une étude remarquable, a passé en revue les données acquises sur les principaux microorganismes jouant un rôle en agriculture. Il ne s'est pas prononcé sur la question de la présence des microbes dans les plantes vivantes.

Tout récemment enfin, Delacroix a décrit une maladie bactérienne des Haricots, appelée *graisse*, maladie qui cause de grands ravages dans le sud-ouest des environs de Paris. Le sol est le véhicule de cette maladie à son début.

Des microorganismes peuvent vivre dans l'intérieur des cellules vivantes. — De cet aperçu, fort incomplet sans doute, des principaux travaux sur l'existence et le rôle des microbes dans les plantes, nous croyons pouvoir conclure, malgré les quelques opinions contraires, que la vie des microorganismes, au sein même des cellules vivantes, est possible en certaines circonstances.

Nous croyons pouvoir aussi, après beaucoup d'hésitations,

nous l'avouons, et sous réserves des recherches et expériences ultérieures, nous prononcer pour la nature animée et vivante des corpuscules mobiles bactéroïdes, dont nous avons constaté la présence dans les cellules des feuilles de presque toutes les plantes.

Observations servant de base à notre opinion en faveur de la nature animée et vivante de nos microorganismes. — Au surplus, voici des détails suffisants sur nos observations personnelles : nous allons décrire les caractères des corpuscules mobiles ou microorganismes, dans l'ordre suivant :

1. *Existence et Localisation*
2. *Formes et dimensions.*
3. *Mouvements.*
4. *Organisation.*
5. *Mode de vie.*
6. *Reproduction.*
7. *Cultures en milieux artificiels.*

1. *Existence et localisation.* — Il suffit de pratiquer une coupe très mince dans une feuille d'une plante quelconque, de monter la coupe dans l'eau pure stérilisée, et d'observer à un grossissement de 1200 à 1500 diamètres, pour apercevoir dans les cellules les corpuscules en question.

Comme principe général, nous pouvons affirmer que ces corpuscules n'existent pas, ou ne se présentent qu'exceptionnellement et à l'état isolé, dans les cellules intactes, saines et en bon fonctionnement ; par contre, ils deviennent de plus en plus abondants dans les cellules malades à mesure que l'état d'altération cellulaire s'aggrave.

En d'autres termes, les corpuscules mobiles existent dans quelques cellules *maladives* ou affaiblies des feuilles non chlorosées, mais ils sont beaucoup plus nombreux dans les cellules dégénérées des feuilles chlorotiques. Chez la Vigne chlorotique en particulier (Pl. XIV), ils pullulent spécialement dans l'assise cellulaire sous-palissadique ; dans ces cellules, les corpuscules mobiles, blanchâtres, réfringents, se meuvent rapidement à travers les granules et globules de chlorophylle décomposée, en communiquant leurs mouvements à ces granules, en les

choquant, en les entourant pour s'en nourrir peut-être, ou simplement d'une manière indirecte par les ondes, les fluctuations qu'ils impriment au liquide cellulaire.

Nous affirmons donc, le premier croyons-nous, la présence générale, dans presque toutes les plantes (nous les avons observés même chez les champignons filamenteux), de ces corpuscules mobiles (microorganismes, ou leucites, ou plastides mobiles, comme l'on voudra) avec prédominance dans les cellules altérées et chlorotiques. *Les cristalloïdes protéiques ne sont ni aussi abondants, ni aussi constants dans les plantes.*

2. *Formes et dimensions.* — Les microorganismes (1) que nous décrivons sont tous de dimensions extrêmement ténues. On peut leur assigner 0,5 μ à 1,5 μ en moyenne. Quelques-uns pourtant s'écartent légèrement de cette moyenne et il est probable que des instruments plus puissants nous en révèleraient de plus microscopiques encore.

Quant à leurs formes, elles sont assez variables (Pl. XVII).

En général, ils ont la forme de petits corps ovoïdes ou presque sphériques, réunis souvent deux à deux en diplocoques, trois par trois (triplocoques, courtes chaînettes rectilignes ou coudées), ou quatre par quatre, en tétrades. *Les cristalloïdes protéiques n'ont jamais ces formes précises.*

Nous n'avons pu, bien entendu, étant donné la petitesse extrême de ces microorganismes, déceler la présence ou vérifier l'absence de cils vibratiles ou de flagellum.

3. *Mouvements.* — Ces microorganismes sont animés de mouvements généralement très rapides, à la fois oscillatoires et translatoires, en sens différents. Ces mouvements n'ont rien du tremblotement et des frémissements browniens.

Souvent même, dans nos préparations, nous avons vu ces microorganismes s'échapper des cellules lésées et se répandre dans le liquide ambiant, dans lequel ils continuent à se mouvoir

(1) L'expression *microorganisme* est prise ici dans son sens général, indiquant simplement des particules vivantes, figurées et mobiles de matière albuminoïde, et non pas dans le sens spécial de bactérie, bacille ou de microbe *ordinaire*.

pendant plusieurs heures *sans manifester le gonflement et la déformation indiqués* par les auteurs *chez les cristalloïdes protéiques*.

C'est donc, selon nous, un mouvement propre et vital qui anime ces corpuscules mobiles, et cette impression sera, nous en sommes convaincu, celle de la majorité des botanistes qui observeront ces organismes soit *in situ*, soit à l'état isolé et hors des coupes, dans les conditions que nous avons indiquées.

4. *Organisation.* — Les microscopes, même les plus puissants, n'ont pu nous permettre de distinguer dans ces organismes une membrane propre et un noyau bien net. Pourtant, nous croyons qu'il possède une membrane qui les enveloppe et qui les relie par deux, trois, quatre, selon les cas ; quelquefois même nous avons observé de petites zooglées évidemment formées par une substance qui est sécrétée par les organismes et qui leur constitue une enveloppe à la fois commune et individuelle.

Quelques-uns nous ont parfois présenté la réaction de l'amidon. Mais cela n'a rien d'extraordinaire, et il ne faudrait pas en conclure que ce sont des granules d'amidon animés de tremblements browniens, puisque nous connaissons depuis longtemps de nombreux microbes qui possèdent aussi la réaction de l'amidon et de la granulose (Voy. plus haut, De Bary). Il est probable que ces microorganismes renferment simplement dans leur substance des molécules de matières amylacées.

5. *Mode de vie.* — Ces microorganismes, d'après nos observations, sont toujours inclus dans les liquides aqueux ou sucs cellulaires. Or, ces sucs cellulaires sont des solutions minérales, et nous savons que les microbes se nourrissent très bien dans les solutions minérales. D'autre part, ainsi que l'a rappelé récemment Wollny, les microbes, quels qu'ils soient, sont extrêmement sensibles à un excès d'acidité du milieu nutritif excès qui les fait généralement périr. Par contre, leur multiplication et leur activité sont favorisées et excitées par une faible alcalinité du substratum. C'est là, évidemment, l'explication de ce fait que nos microorganismes sont toujours plus abondants dans les tissus chlorotiques dont le suc, nous le

savons, est beaucoup moins acide que dans les tissus sains, et parfois neutre ou même légèrement alcalin.

Il n'y a d'ailleurs rien de bien extraordinaire à admettre que des microorganismes aussi minimes et aussi rudimentaires que ceux que nous décrivons puissent facilement puiser dans les liquides cellulaires tous les éléments de leur vie. Après leur mort, leur substance est décomposée et digérée par l'action des ferments intracellulaires.

6. *Reproduction.* — En fait de reproduction, il ne peut évidemment exister dans nos microorganismes qu'une multiplication par bourgeonnement et scissiparité. C'est, en effet, ce que montre l'observation, car les différentes formes en diplocoques, triplocoques, streptocoques, tétrades, etc., sont des stades successifs de bipartition.

Chez les bactéries sphériques, comme le décrit fort bien Macé (*Traité de Bactériologie,* 1897), l'élément rond s'allonge et devient ellipsoïdal; il peut à ce moment avoir la forme d'un court cylindre à bouts arrondis. Puis il se produit, dans la région médiane, un étranglement; c'est alors l'aspect décrit sous le nom de *biscuit à la cuiller* ou de *forme en haltères.* L'étranglement se prononçant de plus en plus, il en résulte la formation de deux *coccus* semblables au premier. Réunis deux à deux, ce sont les diplocoques ; réunis par trois ou davantage en chaînette droite ou flexueuse, ce sont les streptocoques.

Ces genres *Diplococcus* et *Streptococcus* sont donc en réalité des variétés de *Micrococcus.* La division ne semble d'ailleurs pas être toujours bien régulière. En effet, dans bien des cas, les deux éléments provenant d'un même acte de multiplication ne sont pas égaux, l'un est sensiblement plus petit que l'autre, comme une nacelle sphérique suspendue sous un aérostat.

Dans les *Diplococcus,* selon Macé, c'est toujours le plus rapproché du centre du groupe primitif qui est le plus petit : c'est aussi ce que nous observons dans nos microorganismes.

Il y a là un lien évident avec le bourgeonnement, si fréquent chez les Levures, les *Torula,* etc. et autres champignons inférieurs. « La couche extérieure gélifiée de la membrane peut

se séparer lors de la division ; elle montre alors un étranglement net au niveau de la séparation des deux éléments ; ou persister comme une gaîne autour de deux ou plusieurs cellules qui se touchent alors par une face. Au lieu de s'opérer dans une seule direction, la division peut s'opérer dans deux ou plusieurs directions à la fois, soit simultanément, soit plutôt successivement. Les espèces du g. *Micrococcus* ont les cellules sphériques ou légèrement elliptiques ; un élément prêt à se diviser peut avoir la forme d'une ellipse allongée ou d'un court bâtonnet. Les cellules issues de la division peuvent rester accolées les unes aux autres en nombre variable, donnant des figures irrégulières qui ont été assez mal comparées à des grappes de raisins (*Staphylococcus*); elles restent souvent unies deux par deux; il faut parfois une grande attention et de puissants objectifs pour se rendre compte de la présence de deux éléments ». Ces considérations s'appliquent si parfaitement à nos microorganismes que nous nous dispenserons d'y ajouter aucun commentaire.

7. *Culture en milieux artificiels.* — Pour démontrer péremptoirement que nous avions affaire à des corpuscules vivants et non à des corps quelconques et inertes (granules, corpuscules ou cristalloïdes protéiques ou minéraux), nous avons cherché, sur les conseils de MM. les Drs A. Magnin et G. Roux, à ensemencer ces microorganismes sur gélatine peptonisée.

L'opération est extrêmement délicate. Voici comment nous avons opéré. La feuille choisie est d'abord soigneusement nettoyée, puis lavée sur les deux faces au moyen de coton aseptique imbibé d'eau stérilisée ou d'eau distillée bouillie ; la feuille, séchée, est alors passée rapidement à la flamme, puis, au moyen d'un scalpel également flambé, nous enlevons l'épiderme et nous mettons le mésophylle à nu. A ce moment, nouveau flambage rapide; puis avec le fil de platine préalablement stérilisé au rouge, nous prenons *dans ce mésophylle* une particule de tissu. Cette particule est immédiatement transportée sur la gélatine peptonisée du tube à culture qui est refermé de suite avec son tampon ouaté.

Les germes des nombreuses cultures que nous avons effec-

tuées de la sorte ont été puisés dans les feuilles de Lupin, Vigne, Joubarbe et Orobe. Dans beaucoup de tubes, nous avons obtenu des colonies de microorganismes, accompagnés de moisissures diverses à spores lisses ou échinulées. Nous donnerons plus tard l'interprétation de cette association.

En un cas, nous avons obtenu une colonie rouge vif de bacilles qui, évidemment, provenait d'une impureté de la gélatine ou d'une faute de manipulation. Dans un certain nombre de tubes, provenant des germes de Lupin, Joubarbe et Vigne, nous avons eu la satisfaction d'obtenir, au bout de 8 à 12 jours en moyenne, des colonies de microorganismes semblables à ceux observés *in situ* dans les feuilles.

Ces colonies, que l'on peut réensemencer, sont d'aspect mamelonné et lobé, de forme irrégulièrement circulaire, épaisses de 1 millimètre environ, et de couleur isabelle.

Une expérience a été particulièrement concluante : elle a été effectuée en taillant au scalpel, avec les précautions les plus minutieuses et les plus parfaites, un petit massif du parenchyme du *Sempervivum* provenant du sol à 75 o/o de calcaire. Cette petite masse de parenchyme (l'opération est facile chez la Joubarbe) a été déposée sur la gélatine, et au bout de 15 jours d'attente, la colonie de microorganismes s'est développée. Ce laps de temps de 15 jours peut paraître long, mais il s'explique très facilement par ce fait que les microorganismes ont commencé par digérer complètement le massif végétal avant de se répandre dans la gélatine. A la température de 18 à 20°, la gélatine est liquéfiée assez rapidement par les microorganismes ; mais si la température s'abaisse à 10 et 12°, comme tel a été le cas pour nos cultures d'octobre et de novembre, la végétation des microorganismes est extrêmement lente et la gélatine ne se liquéfie pas ou se liquéfie seulement au voisinage de la colonie.

Nous considérons ces cultures en milieu artificiel, non pas comme irréfutablement démonstratives, mais comme fournissant du moins un très sérieux commencement de preuve en faveur de la nature vivante de nos corpuscules mobiles. Quant à nous, sous réserve, bien entendu, des démonstrations expérimentales contraires qui pourraient être faites à l'avenir,

(l'expérience est le seul argument possible en ces matières), nous sommes convaincu de l'existence, dans les plantes, de microorganismes vivant peut-être d'habitude en symbiose, dans les cellules qu'ils rendent malades, mais pouvant aussi, en certaines circonstances (terrain préparé, par exemple, par l'action neutralisante du calcaire dans les plantes chlorotiques), devenir parasites, c'est à-dire pathogènes. Ces conclusions trouvent d'ailleurs un appui sérieux dans les recherches plus spéciales de E. Laurent et de quelques autres expérimentateurs dont nous avons parlé dans notre exposé historique de la question.

Ajoutons que l'examen d'une colonie à divers âges de végétation nous a montré que les formes qui prédominent sont successivement les diplocoques, les tétrades, les streptocoques, puis les staphylocoques (petites zooglées d'une vingtaine de corpuscules, au plus); puis enfin, à la période d'épuisement de la gélatine, les formes redeviennent isolées et finissent par périr.

En définitive, nous considérons nos microorganismes comme des êtres protistes, placés à l'origine même de la vie, ne possédant encore aucune organisation. Simples particules vivantes, douées de motilité, de nutrilité et de multiplication bourgeonnante et scissipare, n'ayant que des dimensions infinitésimales et presque non mensurables, ces êtres rudimentaires seraient donc comme les *microbes des microbes*. Nous n'allons pas plus loin dans ces idées déjà bien risquées, de peur de tomber dans l'exagération et la bizarrerie des systèmes des Béchamp, des Altmann, etc.

Si nous devions donner à ces microorganismes un nom, un état civil, nous proposerions de les appeler *Phyllobium*, correspondant aux *Rhizobium* des Légumineuses; mais nous avons tenu simplement à les signaler et à formuler sur leur compte la conviction que nous avons acquise. Nous aurons à reparler bientôt de leur rôle possible dans les plantes chlorotiques.

Nature probable des microorganismes des feuilles. — Enfin, si nous ne craignions de tomber dans le domaine de la fantaisie et de l'hypothèse pure, nous insinuerions que ces microor-

ganismes pourraient bien être aussi des formes dégénérées d'êtres moins rudimentaires qui seraient dégradés par leur adaptation à la vie intracellulaire.

Qui croirait, sans être prévenu, que la Sacculine, cet être informe, est un Crustacé ? Qui croirait aussi, sans être averti, que les êtres bizarres et innomables que l'on trouve sur ou dans certains Vers femelles sont les mâles de ces femelles ? On connaît ainsi, dans les deux règnes organisés, de multiples exemples de régression et de dégénération parasitaire. Il n'est donc point, somme toute, irraisonnable et antiscientifique d'admettre que la cellule vivante peut abriter des êtres devenus rudimentaires par leur adaptation à ce mode de vie.

Les *Rhizobium* des Légumineuses sont bien, eux aussi, des êtres informes, polymorphes, sortes de protées sans organes, et n'étant pas ordinairement pathogènes, mais au contraire utiles à leur hôte.

Au surplus, dit Vuillemin, « le parasitisme et la symbiose ont des liens si étroits que, dans d'autres conditions, et pour d'autres espèces, pour les Haricots par exemple, d'après Frank, le *Micrococcus* se nourrit aux dépens de son hôte sans compensation équivalente et devient ainsi l'agent d'une maladie microbienne ». D'après une récente observation du Cuboni et Garbini, le diplocoque (*Streptococcus pasteurianus*), découvert par Pasteur dans la *flacherie* des Vers à soie, existerait aussi dans les feuilles du Mûrier où il produirait des taches brunes.

La maladie de la plante et celle de l'animal, causées par un agent commun, seraient transmissibles de l'un à l'autre.

Il est possible aussi que le microcoque si ténu (*Micrococcus lardarius*, 0,5 μ à 0,6 μ) de la *grasserie* du Ver à soie, étudié récemment avec le *Streptococcus* de la flacherie par Krassilschtschik, puisse vivre aussi dans les feuilles. Nous n'avons pu nous en assurer cette année, la végétation étant trop avancée lorsque nous y avons songé.

Quoi qu'il en soit, la possibilité de pareilles migrations ouvre des horizons tout nouveaux à l'étiologie des maladies des animaux et même, peut-être, des maladies humaines.

« Il est temps de familiariser les agronomes, dit encore Vuillemin, avec l'étude des microbes pathogènes » et de tous les microorganismes en général.

Théorie sur la nature spéciale des chloroleucites et leur assimilation à des Algues parasites dégénérées. — Oserons-nous dévoiler même toutes nos pensées? Si oui, nous pourrions insinuer aussi qu'il n'est pas impossible que les vulgaires grains de chlorophylle soient des Algues unicellulaires devenues, elles aussi, parasites ou commensales intracellulaires et dégradées subséquemment par ce nouveau mode de vie auquel elles se seraient adaptées.

Nul n'ignore, à cet égard, que certains Nostocs (*Anabæna Azollæ*) vivent constamment en parasites dans les lacunes sous-épidermiques de l'*Azolla*. Voici donc, en quelque sorte, le premier essai de l'intrusion de l'Algue dans la plante supérieure.

Mais voici que les expériences si intéressantes de Beyerinck sur les *Scenedesmus* et les *Chlorella* nous fournissent un exemple du stade plus avancé de l'intrusion et viennent donner à notre supposition (car ce n'est encore qu'une supposition que nous émettons) un semblant de réalité. Beyerinck, en effet, n'hésite pas à comparer un *Scenedesmus* à un grain chlorophyllien! D'autre part, on sait que les Chlorelles sont aussi des Algues unicellulaires vivant ordinairement en parasites *dans* les cellules des Hydres, Paramécies et Spongilles, et que ces Chlorelles se multiplient, en certains cas, par simple segmentation, comme le font les chloroleucites intracellulaires.

« Il n'est nullement prouvé, dit Beyerinck, que la force de végétation des Chlorelles soit la même que celle des Algues vivant en liberté ; je regarde comme possible, au contraire, qu'elle ait subi, par le séjour dans le protoplasma animal, une diminution qui ralentirait, même sous des conditions favorables, le développement ultérieur ». Beyerinck n'a pu, en effet, cultiver les Chlorelles sur gélatine (cette objection n'aura donc plus grande valeur, si on l'invoque contre notre supposition, en l'appliquant aux grains de chlorophylle).

En poursuivant notre théorie, rappelons que les grains chlorophylliens ne prennent pas naissance çà et là dans le protoplasma, mais qu'ils dérivent tous, par bipartition, d'un grain préexistant (théorie de Schnitz et Schimper, confirmée par Zimmermann). Au moment de la division d'une cellule, un grain chlorophyllien accompagne la partie du protoplasme qui

s'enferme dans la cellule fille ; de fait, on constate, dans le processus de la caryocinèse, que les grains chlorophylliens existent en tout temps, dans toutes les cellules, mères ou filles, naissantes, jeunes ou adultes (nous parlons, bien entendu, de cellules mésophylliennes). On comprend ainsi comment tous les chloroleucites d'une plante peuvent dériver d'un seul qui pouvait exister, probablement à l'état de germe rudimentaire, dans les cotylédons de la graine et qui, de cette façon, dérivait lui-même directement de la plante mère. Rappelons que Hamann a constaté que les Chlorelles existent même *dans les cellules reproductrices* des animaux inférieurs dans lesquels ces sortes de grains chlorophylliens vivent en parasites.

On sait aussi, à ce propos, que la chlorophylle existe déjà dans les embryons des graines de Conifères, de Crucifères et de quelques autres plantes. Une étude plus minutieuse et plus générale aboutirait probablement à cette conclusion que les grains de chlorophylle existent dans beaucoup de graines ou d'embryons et se propagent ainsi directement de la plante mère à la plante fille, et ainsi de suite sans interruption.

D'autre part, il est également avéré que les grains chlorophylliens ont des formes et des dimensions variables selon les plantes que l'on considère : les grains des Mousses ne ressemblent pas à ceux des Fougères, ceux des Algues Siphonées ne ressemblent pas à ceux des Confervacées, etc.; ceux des Dicotylédones et des Monocotylédones diffèrent parfois notablement selon les familles et même selon les genres. N'est-il pas permis de soupçonner dans ces formes variées comme autant d'espèces différentes de chlorophytes parasites?

Ce n'est pas tout : les chimistes, de leur côté, viennent nous révéler qu'il n'y a pas *une* matière verte unique pour tout le règne végétal, mais un grand nombre de chlorophylles différentes.

En résumé, l'analogie frappante de certaines Algues parasites des animaux inférieurs avec les grains chlorophylliens, la multiplication ininterrompue, la diversité de forme, les variations de composition chimique des chloroleucites, nous paraissent constituer un faisceau de présomptions en faveur de

l'autonomie et de l'individualité propre de ces corpuscules verts. Comme dans certains animaux, il y aurait, dans les plantes vertes, des Algues inférieures dégradées qui vivraient ainsi en symbiose autant qu'en parasites et qui seraient utiles à leurs hôtes pour l'assimilation du carbone, comme les microbes des Légumineuses sont utiles à quelques plantes pour l'assimilation de l'azote. Les Champignons et quelques Phanérogames sans chlorophylle (Orobanche, Cuscute, Lathrée, Nid-d'Oiseau, etc.), sont seuls affranchis de cette servitude symbiotique.

Comparaison entre la chlorose végétale et la chlorose animale. — On a souvent essayé de comparer la chlorose des plantes à l'anémie humaine. « Il était, dit Crochetelle, en effet fort logique de continuer la comparaison entre les plantes et les animaux, et, de même que le médecin ordonne les médicaments ferrugineux aux personnes anémiques, on a essayé d'appliquer les sels de fer au traitement de la chlorose. Il fallait s'assurer si le rapprochement que l'on voulait établir entre le sang et la chlorophylle avait sa raison d'être au point de vue de la teneur en fer. Il n'en est rien..... et nous ne pouvons comparer judicieusement en aucune façon la chlorophylle au sang des animaux ». Crochetelle a raison. Cependant, en poursuivant notre idée d'accorder aux grains chlorophylliens une certaine individualité, nous pourrions comparer, en quelque sorte, le chloroleucite (véhicule de carbone) à l'hémoglobule (véhicule d'oxygène et de CO^2), sans nous préoccuper davantage de l'absence (nuisible) ou de la présence (utile) du fer. Et, considérant les grains chlorophylliens et les globules sanguins comme des sortes d'individualités propres vivant dans les organismes en plus ou moins grand nombre, *selon le bon ou le mauvais état de santé* de ces derniers, nous conclurions que la chlorose végétale (ou diminution et dégénérescence des globules verts des plantes) est, somme toute, *en tant qu'effet dystrophique*, comparable physiologiquement à la chlorose animale (ou diminution et dégénérescence des globules rouges des animaux).

Mais gardons-nous d'exagérer cette comparaison, déjà bien téméraire !

b. Tige

α. Histologie générale

Nous n'avons pas observé, dans l'anatomie comparée de tiges de même diamètre, chlorotiques ou non chlorotiques, d'autre différence que celles, bien peu importantes, que nous avons signalées dans nos études sur l'influence chimique du sol. Comme les tiges sont surtout des organes de soutien qui ne sont nourris que par la sève élaborée, il n'y a rien d'étonnant à ce que la différenciation et le développement du parenchyme soient un peu moins accentués dans les tiges chlorotiques. Ces résultats sont conformes aux observations déjà indiquées pour la Vigne par plusieurs auteurs, notamment par Cazeaux-Cazalet.

β. Contenu cellulaire

Quant au contenu cellulaire, il est évident qu'il subit des changements profonds correspondant aux changements éprouvés par les feuilles.

Les tiges herbacées et les jeunes rameaux des plantes ligneuses contenant de la chlorophylle se chlorosent tout comme les feuilles. Ce jaunissement est la conséquence d'altérations cellulaires absolument semblables à celles de la feuille. L'amidon disparaît complètement, les grains de chlorophylle sont désagrégés et ne se reconstituent pas, le protoplasme subit une sorte de dégénérescence, etc., absolument comme dans les feuilles. C'est ce que nous avons pu constater sur les tiges vertes ou sur les hampes florales d'*Orobus tuberosus*, *Ornithopus*, *Roripa*, *Jasione*, etc.

Quant aux tiges, pétioles et hampes dépourvus de chlorophylle, tels que ceux du *Galeopsis*, du Lupin, etc., ils semblent résister plus longtemps que les tiges vertes à la désorganisation ; mais, ne recevant des feuilles aucune matière de réserve et fort peu de sève élaborée, ils finissent par dépérir à leur tour.

c. Racine

α. Histologie générale

L'étude histologique des racines des plantes chlorotiques est extrêmement intéressante. Il ne sera question, bien entendu, que des racines jeunes, qui fonctionnent comme appareil d'absorption ; l'étude des racines âgées n'aurait pour nous aucune importance, puisque ces racines ne fonctionnent plus que comme des appareils passifs conducteurs de la sève brute, sauf les cas rares de racines tuberculeuses servant de magasins de réserve.

Etudions successivement les diverses couches d'une jeune racine chlorotique au niveau des poils absorbants.

Assise pilifère. — Cette assise est extrêmement importante puisque ce sont les poils absorbants qui, seuls, jouent un rôle actif. Or, dans les racines de plantes chlorotiques, nous avons pu constater que ces poils sont souvent comme rabougris, tortueux, altérés ; cela est facile à comprendre, puisque, les sucs acides sécrétés étant neutralisés par le calcaire au fur et à mesure de leur formation, la vitalité des cellules pilifères s'épuise rapidement par excès de fonctionnement.

Il y a toutefois de multiples variations selon les plantes considérées et selon la texture physique du sol dans les altérations des poils absorbants. Aucune règle générale ni aucune description uniforme ne peut être donnée à cet égard ; il nous est absolument impossible de comprendre pourquoi le calcaire nuit à telle plante (calcifuge) et la chlorose, tandis qu'il est favorable à telle autre (calcicole).

Parenchyme cortical. — Le parenchyme cortical nous a paru un peu moins développé, proportionnellement aux autres tissus, dans les racines des plantes chlorotiques. Cependant, cette remarque n'est pas absolue et peut évidemment souffrir de nombreuses exceptions et variations. Les viticulteurs ont remarqué aussi que les racines de Vignes non chlorotiques sont plus molles et plus charnues, lorsqu'on les pince, que celles des pieds chlorotiques, ce qui prouve l'abondance du tissu conjonctif dans les sujets non malades.

Faisceaux libériens et ligneux. — Les faisceaux ligneux paraissent plus développés dans les racines chlorotiques, tandis que le liber tend à subir, au contraire, un retard de développement. Le fait a déjà été observé dans la Vigne par plusieurs auteurs : «L'examen au microscope des racines de Vignes chlorotiques nous a permis, dit Cazeaux-Cazalet, d'établir très nettement que toutes les racines en terrain calcaire ont subi une modification importante ; le tissu fibreux est excessivement développé proportionnellement au tissu cellulaire, le seul capable de permettre l'émission de nouvelles radicelles. Nous avons pu voir une jeune racine présentant des modifications de ce genre de plus en plus caractérisées à mesure qu'elle s'enfonce dans une couche plus calcaire». Ces observations nous paraissent bien exactes, mais nous devons constater qu'elles ne sont pas bien d'accord avec l'opinion de Viala qui prétend que les racines chlorotiques «sont plus molles et plus flexibles, ploient sous la main comme du caoutchouc, sont moins lignifiées».

Parenchyme médullaire. — Le parenchyme médullaire central, les rayons médullaires et le péricycle nous ont paru quelque peu réduits dans les racines chlorotiques, mais toujours très peu sensiblement. Dans la Vigne spécialement, d'après les observations et les reproductions photographiques de Cazeaux-Cazalet (Pl. XVIII et XIX), cette réduction du parenchyme central paraît très considérable.

β. Contenu cellulaire

Le contenu vivant des cellules pilifères est altéré, le protoplasme est trouble, le suc cellulaire également; il y a tendance à la contraction, puis à la décomposition et à la dégénérescence ; cependant, comme le contenu de ces cellules est toujours plus ou moins incolore, il est quelquefois difficile de se rendre un compte exact de l'intensité de ces altérations, et l'on conçoit au surplus que dans ces cas délicats il est toujours difficile de préciser le moment où la cellule, très altérée, perd la vie et se décompose.

Quant aux cellules du parenchyme cortical, elles contiennent

peu ou point de matières de réserves, ainsi qu'il est facile de s'en assurer pour l'amidon en particulier. «Point de dépôt d'amidon dans leurs cellules, dit VIALA, après l'aoûtement du bois. Les régions qui sont très actives (couche génératrice, etc.) ont un contenu pauvre en protoplasme». Il en est de même de l'appareil conducteur de la sève élaborée, les vaisseaux grillagés et les cellules du liber sont presque vides ; «en un mot, il y a pénurie de matières azotées et de matières hydrocarbonées».

Dans les racines, comme aussi dans les tiges, nous n'avons pas constaté d'excès sensible de cristaux calciques ; lorsqu'il y en a, ils ne sont pas plus gros ni plus nombreux dans les cellules des racines chlorotiques.

En résumé, dans les racines de plantes chlorotiques, le tissu conjonctif est réduit, à parois épaissies ; la moelle et les rayons médullaires sont souvent lignifiés et vascularisés en partie ; la couche génératrice est mal formée, peu visible et quelquefois absente ; enfin, les réserves intracellulaires sont peu abondantes ou presque nulles.

CHAPITRE QUATRIÈME

ETUDE PHYSIOLOGIQUE DU PROCESSUS CHLOROTIQUE

Dans la théorie que nous allons exposer du processus (1) chlorotique, nous suivrons l'ordre naturel des phénomènes physiologiques de la nutrition des plantes : *absorption*, *conduction*, *élaboration* et *répartition* des aliments. Il est bien entendu que nous mettrons à profit les résultats acquis déjà par nos prédécesseurs, et que par conséquent cette théorie ne nous sera pas complètement, mais partiellement personnelle.

D'autre part, il est évident que nos efforts pour arriver à la compréhension des phénomènes vitaux normaux, ou anormaux (cas de la chlorose), n'aboutiront qu'à des conjectures que l'on doit maintenir dans le domaine des probabilités sans pouvoir en aucun cas les compter à l'effectif des faits scientifiques acquis.

Néanmoins, ces conjectures ont toute apparence de vérité, et nous aurons soin, le cas échéant, de faire la part de l'hypothèse pure dans l'émission de nos opinions.

La chlorose est un complexus morbide extrêmement difficile à expliquer, surtout parce qu'il est sous la dépendance non pas d'une cause unique, mais d'une cause principale, le calcaire, accompagnée de beaucoup d'autres causes moins importantes, extrinsèques ou intrinsèques. Autant de plantes chlorotiques, autant de chloroses différentes, en quelque sorte. En cette matière, tout est variable et varie dans les détails autour d'un ensemble de phénomènes généraux qui restent pourtant à peu près identiques.

(1) Nous désignons par *processus* l'ensemble des phénomènes physiologiques qui comportent l'apparition et les progrès de la chlorose.

I. — ABSORPTION ET CONDUCTION

Les troubles d'absorption sont le point de départ de la chlorose, qui a une origine souterraine. — Les troubles dans l'absorption des matières minérales sont le point de départ et l'origine même de la chlorose, et nous tenons à insister particulièrement sur ce point que l'on a, selon nous, trop négligé jusqu'à ce jour.

Le calcaire doit être absorbé à l'état de bicarbonate soluble ; or, cette solution calcique sera d'une concentration variable selon la quantité d'acide carbonique de l'eau et de l'atmosphère souterraine, selon la teneur quantitative du sol en calcaire, selon l'état de division de ce calcaire, selon sa vitesse d'attaque spécifique, et enfin selon le degré d'humidité du sol. D'ores et déjà, nous sommes, en combinant ces différents facteurs, en présence d'une variété considérable de solutions et de sols chlorosants.

Dès l'origine, donc, rien de fixe, rien de précis, surtout si nous faisons entrer en ligne de compte les questions, d'ailleurs presque inconnues encore, de résistance, de plasticité et d'adaptation spécifiques.

Dans le cas des plantes nettement calcifuges, habituées à vivre dans des sols toujours plus ou moins acides, comme le sont en particulier les terres de bruyère qui sont, par leur acidité même, privées de bactéries (R. Bouilhac, etc.), que se passera-t-il au moment de l'absorption du calcaire?

Altération du système absorbant par le calcaire. — Les poils absorbants, plongés dans un milieu très alcalin, épuiseront leurs sucs acides internes ou superficiels à essayer de neutraliser le calcaire qui les entoure, mais sans y parvenir.

L'excès de fonctionnement, comme l'arrêt ou l'absence de travail d'un organe, aboutit directement à l'atrophie et à la mort. Toutefois, l'absorption, phénomène en grande partie physique, ne s'arrête pas complètement, car la surface des cellules de l'assise pilifère, ratatinées et altérées, peut néanmoins jouer encore son rôle de membrane osmotique et d'appareil de

diffusion. Mais, point important à retenir, les solutions absorbées dans ces conditions ne sont plus du tout les mêmes que celles absorbées en un sol normal et à l'aide d'un appareil normal.

En définitive, les aliments minéraux ne sont plus les mêmes chimiquement par suite du changement des réactions, et l'absorption de ces aliments est également troublée, ralentie et irrégulière.

Un animal auquel on ferait absorber des aliments différents de ceux qu'il est habitué à prendre, et auquel on supprimerait une partie des glandes buccales et de l'appareil masticateur, serait dans une situation précaire comparable à celle de la plante calcifuge obligée de végéter en sol calcaire.

D'autre part, les racines étant mal entourées, se trouvant dans un milieu anormal, sont en état de malaise perpétuel et de faiblesse physiologique ; leur activité fonctionnelle étant troublée par exagération d'abord, et plus tard par arrêt de la fonction, il est évident que la vie des cellules centrales se ressentira aussi de cet état de choses défectueux.

C'est pourquoi, en sols calcaires, la formation et le développement des radicelles se trouvent entravés.

L'étude morphologique des racines nous indique bien, malgré des différences histologiques assez faibles, qu'après un excès succède un arrêt de fonctionnement. « Au point de vue de la forme et de la dimension du système radiculaire, on a pu remarquer, dit Cazeaux-Cazalet, à propos de la Vigne, combien les cépages jaunes ont des racines faibles et peu ramifiées, peu pourvues surtout de radicelles ».

Pour qu'une racine reste active, pour qu'elle continue à absorber, il est nécessaire qu'elle s'allonge ou se multiplie sans cesse. Or, ceci est un fait d'observation, les terrains chlorosants arrêtent à la fois la croissance et la multiplication, produisent en même temps, par leurs propriétés caloriques et hydriques spéciales, la lignification avancée (constatée surtout chez la Vigne) et troublent, mais sans les annihiler, les facultés d'absorption des racines.

« Dans aucun autre terrain, ajoute Cazeaux-Cazalet, on ne peut trouver de pareils résultats ».

Caractères des racines résistantes et des racines faibles. — Les plantes à racines faibles et fasciculées, à chevelu abondant, sont, à cause de leur faiblesse, à cause de l'épuisement rapide des réserves, à cause de l'arrêt plus marqué de croissance et de ramification, à cause enfin de leur différenciation (lignification surtout) interne plus intense, les plus prédestinées et les plus sensibles à la chlorose.

Les plantes fortes, à racines épaisses, robustes et plus résistantes, telles que la Vigne, peuvent résister plus longtemps au calcaire et le mieux supporter. C'est pourquoi la chlorose n'apparaît ordinairement, chez ces plantes, que la deuxième ou troisième année de végétation, parce que les racines peuvent résister quelque temps au moyen de leurs réserves et de leur active poussée générale. Au contraire, les plantes faibles et herbacées, comme celles que nous avons expérimentées, ne sont point outillées pour la résistance externe ou interne, et se chlorosent pour ainsi dire instantanément. Le fait de la chlorose apparaissant seulement après deux ans n'est donc exact que pour la Vigne et quelques arbres, et inexact pour la grande masse des plantes herbacées ou annuelles, et il ne peut en rien diminuer, contrairement à l'assertion de Cazeaux-Cazalet, la portée de la *théorie de l'absorption continue, intempestive et exagérée du calcaire* ; car cette absorption est bel et bien continue, et conséquemment exagérée, ainsi que le démontrent la plupart des analyses de cendres, notamment celles de Malaguti et Durocher, Fliche et Grandeau, etc., et les recherches de Viala, Ravaz, Chauzit et autres.

Le mauvais état des tissus et des poils, la formation tardive et défectueuse des radicelles, l'endosmose troublée et l'exosmose anormale au niveau des poils absorbants, épuisent, nous le comprenons déjà, la plante calcifuge par une absorption défectueuse et une nutrition ralentie et troublée.

Nous le répétons donc, le siège, la source même de la chlorose ne réside pas dans les feuilles, mais au contraire, souterrainement, dans les racines, chez lesquelles on constate, sous l'influence du calcaire, l'épuisement des réserves, l'arrêt de

sécrétion des acides, la perte de turgescence des cellules, les troubles de l'absorption, etc.

Ce sont les appareils d'absorption qui forment le trait d'union principal entre la *cause* de la chlorose qui est le *sol*, et l'*effet visible*, c'est-à-dire la *décoloration* des parties vertes.

Troubles dans les sèves et dans la conduction. — Quant aux appareils de conduction, ils sont bien développés, nous le savons, dans les racines chlorotiques ; les sèves brutes qui résultent du mélange des solutions minérales absorbées montent très facilement dans les parties supérieures du végétal.

Toutefois nous pensons, sans pouvoir le démontrer, que les variations dans la saturation ou la dilution des sèves, et notamment la prédominance des matières alcalines, peuvent altérer et ralentir la conduction, selon l'état de sécheresse ou d'humidité, de chaleur ou de froidure du sol et de l'air. Là encore rien de fixe, tout est variable et inconstant.

II. — ELABORATION

Les solutions et sèves brutes arrivant des racines par le système ascendant vasculo-ligneux sont distribuées dans toute l'étendue du mésophylle par l'intermédiaire des ramuscules nerviens. Il est à supposer, bien que l'on ne puisse le démontrer directement, que les matières ainsi distribuées au mésophylle n'arrivent pas complètement brutes, mais déjà en partie transformées en chemin sous l'action de ferments et de corps chimiques élaborés par l'activité propre des racines, et que, dans les plantes chlorotiques, ces phénomènes, qui commencent normalement pendant l'ascension, n'ont pas lieu ou bien sont différents.

Les troubles d'absorption et d'élaboration sont révélés par la composition anormale des sèves et des cendres. — En tout cas, on sait, d'une façon à peu près certaine, que les solutions minérales absorbées par une plante calcifuge en sols calcaires

sont plus riches en calcaire et souvent en magnésie, et plus pauvres en potasse et en silice que dans les sols normaux. Il a été reconnu et démontré, en particulier, que la sève des Vignes est beaucoup plus riche en chaux en sols calcaires qu'en sols siliceux.

L'analyse chimique des cendres des plantes silicicoles nous apprend que ces cendres sont riches en silice, en potasse et en acide sulfurique, tandis que celles des plantes calcicoles sont, par contre, riches en chaux et pauvres en potasse.

Bien que la quantité absolue ou relative des divers principes chimiques contenus dans les plantes soit très variable selon l'âge de la plante, l'organe considéré et même selon les individus de la même espèce, on peut cependant tirer, de l'étude chimique des cendres, des conclusions intéressantes.

Par suite de la difficulté de se procurer des matériaux en quantité suffisante pour les diverses réactions et opérations d'une analyse chimique complète, il n'est guère possible de faire cette étude que sur la Vigne.

La plupart des chimistes qui ont analysé les Vignes ont constaté des différences caractéristiques selon les terrains : les Vignes chlorosées sur sols calcaires contiennent beaucoup plus de chaux et de magnésie ; au contraire, sur sols siliceux, les Vignes ne se chlorosent pas et sont riches en potasse et en silice. C'est ce qu'ont démontré péremptoirement les analyses de Hruschauer à Grätz (Styrie).

Schulze (1) a conclu de ses analyses de Vigne que les feuilles chlorosées contiennent deux fois moins de potasse, mais sont au contraire beaucoup plus riches en chaux et en magnésie que les feuilles vertes et saines.

En 1894, Degrully et Gastine ont obtenu des résultats assez différents des autres expérimentateurs. En comparant les cendres de feuilles chlorotiques et non chlorotiques, ils ont constaté les faits suivants : 1° la quantité de chaux est à peu près semblable de part et d'autre ; 2° les feuilles chlorotiques renferment beaucoup de fer (0,779 contre 0,403) ; 3° les feuilles

(1) Cité par Frank. Die Krankheiten der Pflanzen, t. III.

chlorotiques renferment beaucoup de silice ; 4° les feuilles chlorotiques sont beaucoup plus pauvres que les feuilles vertes en potasse, soude, magnésie, manganèse, acides phosphorique et sulfurique.

J. Crochetelle est arrivé à des résultats analogues en analysant les feuilles de Poiriers verts et chlorotiques.

D'après ces derniers auteurs, ce n'est pas le manque de fer qui produit la chlorose ; les éléments les plus utiles à la nutrition (potasse, acides sulfurique et phosphorique) se trouvent en plus faible proportion dans les feuilles malades ; enfin, ce ne serait pas toujours l'excès du calcaire qui produit la chlorose, puisque parfois les feuilles bien portantes renferment plus de chaux que les feuilles malades.

Mais, comme ces auteurs sont en contradiction avec la plupart des chimistes qui ont, comme eux, analysé des plantes chlorotiques ; comme, d'autre part, ils ont omis de nous préciser leurs méthodes d'analyse et surtout la *composition du substratum* de leurs plantes analysées, nous faisons des réserves sur l'importance de leurs conclusions. Degrully et Gastine mentionnent en particulier dans leurs Vignes, chlorosées ou non, une telle dose de cuivre, que nous nous basons encore sur cette anomalie pour réclamer des éclaircissements au sujet de leur technique et surtout de l'origine de leurs matériaux.

Au surplus, il ne faut pas, croyons-nous, acccorder trop d'importance dans la question de la chlorose, à la quantité et même à la qualité des cendres révélées par la plupart des analyses publiées. « En effet, disent Portes et Ruyssen, une véritable anarchie règne dans l'ampel-œnologie en ce qui concerne la détermination des éléments minéraux. Les uns les dosent à l'état de sels, les autres à l'état d'oxydes et d'acides, d'autres font abstraction ou tiennent compte, et cela dans les diverses parties d'une même expérience, de l'acide carbonique. De là, pour le commentateur qui veut rechercher les règles qui se dégagent de ces diverses expériences, des calculs aussi fastidieux qu'interminables et aventureux ».

En définitive, et malgré quelques opinions et expériences discordantes, nous pouvons et devons conclure que les matériaux bruts amenés anormalement dans les plantes calcifuges

qui végètent en sols calcaires sont très différents des matériaux pour l'élaboration desquels la plante calcifuge est outillée et habituée. Nous pouvons affirmer aussi qu'il y a, dans la majorité des cas, excès de chaux chez les plantes chlorotiques.

S'il y a pléthore de certains corps minéraux, il y a pauvreté en substances organiques carbonées. — D'ailleurs, ainsi que l'a démontré Joulie en 1887 (*Bull. Soc. d'Agric. de Vaucluse*), « lorsque les sels fertilisants dépassent la proportion de un à deux millièmes dans le liquide offert aux racines, les plantes jaunissent et ne tardent pas à mourir ». En 1882 et 1886, en analysant comparativement des pampres et des feuilles chlorotiques ou non chlorotiques, Joulie a constaté chez les organes chlorosés une sorte de pléthore, car ils paraissaient riches en azote, potasse, phosphore, fer, etc. Mais, ainsi que l'a fait judicieusement remarquer G. Coutagne (1892, *Progrès agricole*), la prétendue pléthore des ceps chlorosés s'explique très bien. Joulie a indiqué les quantités d'azote, acide phosphorique, potasse, fer, etc., trouvées dans 1000 parties de matière desséchée. « En d'autres termes, dans ces analyses, on a comparé surtout le poids de la substance minérale au poids des éléments carbonés (hydrates de carbone, etc.) ». Au lieu donc de dire qu'il y a pléthore de substances minérales, il serait plus exact de dire qu'il y a appauvrissement en substances carbonées, lesquelles sont les produits directs de la cellule vivante et de la chlorophylle. La pauvreté des substances organiques carbonées peut d'ailleurs se déduire, *à priori*, de la pauvreté en chlorophylle de la plante chlorotique (V. Frank, *Die Krankheiten der Pflanzen*, t III).

Mauvais fonctionnement de la cellule chlorotique. — Et pourquoi la cellule du mésophylle de la feuille ne fonctionne-t-elle plus ? Pour plusieurs raisons :

En premier lieu, une grande partie de la chaux, qui tend à se déposer par suite de la transpiration et de la chlorovaporisation, s'unit avec les ferments et les acides pectique, oxalique, malique, citrique, tartrique, etc., pour former des composés amorphes qui, entrant dans la constitution de la mem-

brane, du protoplasme et du noyau, viennent encombrer ces parties cellulaires, diminuer la turgescence et entraver les échanges inter et intracellulaires.

La chaux s'incorpore aux diverses parties cellulaires. — Toutefois, il n'est pas encore démontré que la chaux puisse s'incorporer en dose notable au noyau et au protoplasme. Quant à la membrane, les recherches de Bertrand, Mallèvre, etc., ont mis hors de doute la formation, l'abondance et le rôle du pectate de chaux en particulier.

Augmentation préalable, puis arrêt des actes cellulaires. — A ce point de vue, nous croyons qu'il y a, dans la feuille comme dans la racine, d'abord une augmentation d'intensité, une sorte de surproduction des phénomènes vitaux, puis arrêt de ces phénomènes ; après un maximum, il y a décroissance ; comme si la cellule, travaillant trop et produisant notamment les combinaisons calciques qui se déposent dans la membrane, se fermait ainsi à elle-même la voie d'arrivée de ses matériaux et éléments futurs.

Diminution de la potasse, son influence dans la production et le transport de l'amidon. — La diminution de la potasse a aussi une très grande importance. En effet, d'après Nobbe, Erdmann et Schrœder, les cellules à chlorophylle n'élaborent de l'amidon et ne fonctionnent régulièrement que si la plante reçoit des sels de potasse en quantité suffisante, et variable selon le tempérament et la manière de vivre habituelle de la plante. La production de l'amidon dans la feuille serait liée, selon ces savants auteurs, non seulement à la production préalable de glucose, comme l'a avancé Schimper, mais à la présence de la potasse dans les liquides qui gorgent les tissus. Enfin, l'amidon une fois formé, c'est seulement sous l'influence du chlorure de potassium que la migration de l'amidon se fait régulièrement.

Les recherches récentes de Lesage viennent à l'appui de ces faits : une trop forte salure, en apportant la soude au détriment de la potasse, ralentit la production de l'amidon et, par

suite, les phénomènes de l'assimilation. Une forte salure est également accompagnée d'une diminution de la chlorophylle.

Selon nous, ces faits démontrent bien que les plantes calcifuges sont en même temps, et pour la plupart, des plantes kaliphiles ou potassicoles.

Diminution d'acidité des sucs cellulaires. — L'apport constant de chaux dans la plante chlorosée en sols calcaires, en précipitant, en neutralisant et en épuisant les acides, a pour effet principal de diminuer l'acidité du suc cellulaire et d'augmenter, surtout si l'on admet l'incorporation d'une proportion minime de chaux dans le protoplasme, l'alcalinité de ce dernier.

Le suc acide des plantes, dit A. Bernard, « est neutralisé par l'excès de calcaire, et ne l'est par aucun autre sel de chaux, sulfate, chlorure, phosphate ou nitrate ».

D'ailleurs, ajoute cet auteur, la quantité de chaux que l'on trouve dans les cendres des plantes silicicoles ou des plantes chlorotiques prouve bien que le calcaire n'est pas un poison par lui-même, à cause de l'excès de sels de chaux qu'il livre aux plantes, mais à cause de l'alcalinité exagérée qu'il produit. Cette diminution d'acidité des sucs résulte d'abord de la concentration des sèves par arrêt des hydratations, puisque, la chlorose se produisant toujours pendant les fortes chaleurs, la transpiration enlève une grande partie de l'eau interne et concentre par conséquent la liqueur solutive.

Explication de l'excès de silice dans les feuilles chlorotiques. — La forte proportion de silice trouvée dans certaines feuilles chlorotiques s'explique bien par l'excès d'évaporation.

La concentration et l'augmentation de densité des sèves ont pour effet de favoriser le mélange, l'alliage, la fonte du protoplasma et des sucs, et de détruire l'équilibre intracellulaire normal. Il est superflu de reprendre ici la démonstration de l'action du calcaire sur l'acidité des sucs cellulaires. Cette démonstration a été fournie chimiquement sur la Vigne chlorotique, entre autres, par B. Pons, qui a constaté que le suc chlorotique est à peine acide, souvent neutre, et parfois même

légèrement alcalin ; par suite, les transformations utiles des matériaux apportés à la feuille sont interrompues ; la formation de la chlorophylle est entravée et même la chlorophylle est détruite par des phénomènes de réduction.

Les recherches de Cazeaux-Cazalet démontrent aussi que les plantes chlorotiques contiennent peu de matières acides, probablement, selon lui, parce que ces plantes sont arrivées à un certain degré d'épuisement. On sait, d'après les analyses chimiques, que les feuilles chlorotiques sont pauvres non seulement en potasse, mais aussi en acides phosphorique et sulfurique, d'où diminution corrélative de l'acidité des sucs cellulaires.

E. Laurent, dans ses savantes recherches, attribue également une grande importance aux variations de l'acidité cellulaire, et il a constaté que l'absorption des phosphates et de l'acide phosphorique augmente l'acidité des sucs cellulaires.

En résumé, les cellules des feuilles chlorotiques ne fonctionnent plus parce que les composés calciques s'accumulent dans les diverses parties de la cellule sous l'influence de la concentration des liquides produite par la transpiration très active ; parce que cette concentration s'accompagne d'une augmentation de densité et d'une perte partielle de la turgescence, et, conséquemment, d'une tendance au mélange anormal du protoplasme et du suc cellulaire ; parce que le suc cellulaire perd son acidité normale et nécessaire, et qu'ainsi des troubles graves paralysent l'activité fonctionnelle.

Rôle de l'excès d'émission d'eau dans la chlorose. — L'excès de transpiration et de chlorovaporisation peut même priver d'eau la cellule au point d'amener sa dessiccation partielle, son recroquevillement et sa mort ; c'est ce qui explique la formation des plages grillées et mortifiées sur les feuilles chlorotiques au 4e degré ; c'est ce qui nous explique en même temps ce fait important que les feuilles chlorotiques restent toujours plus vertes le long des nervures, c'est-à-dire là où toute l'eau apportée des racines n'a pu encore être évaporée et transpirée.

En définitive, les phénomènes si complexes, si variables et si obscurs, dont nous venons d'esquisser le processus, se tra-

duisent, comme résultat global, par un trouble, un ralentissement, et même un arrêt des réactions physico-chimiques et vitales de l'élaboration des sèves et des matières de réserves ; en un mot, par un ralentissement de la nutrition.

L'assimilation chlorophyllienne des plantes chlorotiques. — Que devient, dans tout ceci, l'assimilation chlorophyllienne ? Cette question, fort intéressante, demande un certain développement.

L'assimilation chlorophyllienne est la plus importante des fonctions de la feuille ; elle est un acte nécessaire de l'assimilation végétale, et le point de départ même de la vie végétale et la source de tout mouvement vital sur notre planète. Toutefois, l'oxygène et l'acide carbonique ne sont point suffisants pour entretenir la vie des plantes qui ont également besoin, cela va sans dire, de l'eau et des aliments minéraux. Par conséquent, si la plante est mal nourrie *telluriquement*, elle sera malade, mais pourra encore vivre *atmosphériquement* par la respiration surtout (c'est le cas de la chlorose) ; par contre, si une plante ne reçoit ni oxygène ni acide carbonique, elle périra fatalement, quelle que soit la richesse du substratum.

Principales recherches sur la fonction chlorophyllienne des feuilles discolores. — Le Genevois Bonnet (1769) et Jean Senebier (vers 1775) découvrirent l'assimilation du carbone par le tissu vert des plantes ; puis Priestley, Ingen-Houz, etc., et plus tard Al. Brongniart (1828) et Liebig (1840), ont expliqué le rôle exact des feuilles vertes dans la décomposition du CO^2 de l'air. Mais ils ne se préoccupèrent point spécialement de l'assimilation des feuilles chlorotiques.

Vers 1868, J. Sachs a étudié la désorganisation de la chlorophylle dans le dépérissement automnal et le transport des parties constituantes de la chlorophylle dans les organes pérennes du végétal; mais il n'a effectué aucune comparaison précise entre l'assimilation des feuilles jaunes automnales et celle des feuilles chlorotiques. Plus récemment, Chareyre a rappelé l'attention sur les relations existant entre les dépôts de calcaire chez les plantes et la fonction chlorophyllienne, sans bien les préciser toutefois.

Vers 1885, Schimper, cherchant à expliquer le processus de l'as-

similation, a admis qu'elle est en rapport avec la quantité de chlorophylle et que la diminution de la chlorophylle doit correspondre à une faible assimilation.

Bonnier et Mangin, précisant la question, ont institué des expériences dont voici les conclusions : Dans les branches vertes, la respiration est plus faible que l'action chlorophyllienne ; dans les branches jaunes, au contraire, la respiration est plus forte que l'action chlorophyllienne.

En 1888, J. Peyrou, dans ses recherches sur l'atmosphère interne des plantes, a constaté que la coloration des feuilles n'a aucune influence sur leur contenu gazeux; chaque fois que la plante se trouve dans des conditions défavorables à son développement, la proportion d'oxygène augmente; elle diminue dans le cas contraire. Ainsi les feuilles étiolées contiennent plus d'oxygène que les feuilles adultes, et ces dernières plus que les feuilles jeunes ; l'acide carbonique varie inversement.

En 1889, Zimmermann a étudié l'assimilation chlorophyllienne des plantes chlorotiques. Selon lui, les plantes même moyennement chlorotiques n'assimilent pas.

En 1890, Lesage, dans ses recherches sur les modifications des feuilles chez les plantes maritimes, et Schimper, en 1891, ont démontré que l'excès dans le sol des éléments constituants empêche la formation de la chlorophylle et, conséquemment, réduit l'assimilation.

En 1895, Bokorny, dans ses expériences sur les Algues, a constaté que le manque de calcium entraîne une diminution de l'appareil chlorophyllien, mais, malgré cela, la plante assimile le carbone avec formation d'amidon. Le calcium n'est pas directement nécessaire à la fonction chlorophyllienne, mais il l'est indirectement, puisque sans lui les plastides chlorophylliens ne peuvent prendre un développement normal.

En 1897, Palladine a constaté que beaucoup de substances (mannite, dulcite, asparagine, urée, alcool, etc.) arrêtent aussi la formation de la chlorophylle. En outre, des feuilles étiolées, soumises au même éclairement, mais placées dans des conditions différentes d'oxygène, deviennent rapidement vertes lorsque les feuilles reçoivent beaucoup d'oxygène, tandis qu'elles restent jaunes lorsqu'elles en sont peu pourvues. Il est donc nécessaire, pour que la chlorophylle naisse et que l'acide carbonique puisse être décomposé, que les tissus végétaux reçoivent plus d'oxygène qu'il ne leur en faut pour la respiration.

Tout récemment enfin (septembre 1899), Ed. Griffon a publié un travail à la fois historique et original sur l'assimilation chlorophyllienne et la coloration des plantes. Nous donnons ici ses principales conclusions, parce qu'elles viennent parfaitement s'adapter à notre travail, pour le compléter et le préciser au point de vue de l'assimilation chlorophyllienne.

Les plantes à feuilles normalement rouges (*Fagus silvatica* var. *purpurea*, *Fag. silvat.* var. *cuprea*, *Betula alba* var. *foliis purpureis*, *Acer pseudo-platanus* var. *purpurea*, Betteraves, Balisier, etc.) ont ordinairement une énergie assimilatrice plus faible (six fois moindre, en moyenne) que celle des feuilles appartenant aux types verts correspondants.

Dans les plantes rouges, l'anthocyanine paraît n'exercer, par les radiations qu'elle absorbe, aucune influence sensible sur l'intensité du verdissement et de l'assimilation chlorophyllienne.

Les plantes dont les feuilles rougissent au printemps (Chêne, certaines Pivoines, etc.) ont une énergie assimilatrice inférieure à celle des feuilles restées vertes.

Le rougissement automnal (feuilles caduques de Vigne-Vierge, Sumac, Coudrier sanguin ; feuilles persistantes de Joubarbe, Orpin, Vaccinium, Buis, plusieurs Conifères, etc.) a été étudié déjà par Mohl, Kraus, Haberlandt, Frank, Mer, et tout récemment par Overton et Griffon. L'assimilation de ces feuilles est très ralentie.

Quant aux feuilles vertes, Griffon conclut à l'impossibilité de prévoir et d'expliquer parfois l'intensité de la fonction chlorophyllienne selon la coloration verte plus ou moins foncée. «Très souvent, les feuilles très vertes ont une énergie assimilatrice supérieure à celle des feuilles d'un vert pâle (Céréales, Laitues, *Begonia*, *Fuchsia*, etc.); mais il arrive aussi que : 1° des feuilles ayant même teinte verte n'assimilent pas également ; 2° des feuilles vert pâle assimilent autant et même plus que des feuilles d'un vert foncé. L'épaisseur du mésophylle, sa structure et en particulier le développement du tissu palissadique, le nombre, la dimension et la teinte des chloroleucites dans chaque cellule sont autant de facteurs dont les variations ont sur la coloration verte des feuilles des effets soit concordants, soit opposés ; leur action sur la décomposition de CO^2 donne une résultante que l'expérience seule peut faire connaître dans son sens et sa grandeur. Cette résultante semble même, dans certains cas, en contradiction avec les données déduites de l'anatomie. Il y a donc,

en dehors des manifestations de la structure, d'autres causes (peut-être l'activité propre des leucites ou la nature différente des chlorophylles) qui font varier l'assimilation».

Nous n'insisterons pas sur l'importance et l'intérêt de ces recherches et de ces conclusions.

«Les conclusions de ZIMMERMANN, ajoute incidemment GRIFFON, sont basées sur ce fait qu'on ne constate pas de formation d'amidon à la lumière. Mais on admet aujourd'hui, grâce à la connaissance des propriétés des diastases et contrairement à l'opinion de SACHS, que les hydrates de carbone provenant de l'assimilation ne passent pas nécessairement par la phase amidon (DUCLAUX, *Traité de microbiologie*, t. II, p. 74, 1899). Aussi, on ne peut apprécier avec précision l'énergie assimilatrice des feuilles en déterminant les quantités d'amidon qu'elles contiennent à un moment donné. J'ai déjà eu l'occasion de le faire remarquer au sujet des plantes végétant dans les terrains salés».

En résumé, la diminution de l'assimilation chlorophyllienne, douteuse ou peu marquée pour les feuilles peu chlorotiques, est manifeste pour les feuilles extrêmement jaunies.

Aggravation de la chlorose dans les périodes de chaleur. — La transpiration, et en général l'émission ou excrétion d'eau, sous toutes ses formes, a également une très grande importance dans le processus chlorotique. C'est toujours dans les jours très chauds, après les périodes humides, que l'on voit se produire les *explosions* de chlorose chez les plantes.

Cette observation est acquise depuis longtemps par les remarques des viticulteurs et des pépiniéristes. Nous l'avons confirmée dans nos cultures, car c'est pendant les fortes chaleurs de juillet et août (le thermomètre atteignait 45° centigrades!), succédant à la période pluvieuse de la fin juin, que nous avons vu nos chloroses s'accentuer et s'aggraver.

Cette aggravation chlorotique résulte directement de l'excès d'évaporation et de transpiration qui concentre la sève et les sucs cellulaires, qui dessèche le protoplasme et les leucites en même temps que les matières minérales, le carbonate de chaux notamment, exercent leur action neutralisante et alcalinisante sur les liquides cellulaires normalement acides. D'autre part, cet excès d'émission aqueuse n'étant point compensé par une

absorption radiculaire correspondante, puisque la chaleur déshydrate également le sol, l'équilibre est rompu de plus en plus, et la dystrophie générale et la désagrégation cellulaire s'accentuent.

Aggravation de la chlorose dans les périodes froides et humides.— Le défaut d'excrétion d'eau, par suite d'excès d'humidité atmosphérique ou par abaissement anormal de température, peut également provoquer l'aggravation de la chlorose en arrêtant l'ascension des liquides absorbés par les racines, et en frappant d'inertie ou de ralentissement fonctionnel le protoplasme. Au surplus, nous passerons en revue, dans le chapitre suivant, toutes les causes aggravantes ou atténuantes de la chlorose.

Rôle possible des microorganismes dans l'aggravation de la chlorose. — Quant aux microorganismes dont nous avons signalé la présence dans la plupart des feuilles, nous avons constaté leur extrême multiplication dans les feuilles chlorotiques. Quel rôle peuvent jouer dans les plantes ces êtres si ténus et si rudimentaires? Nous ne pouvons, à cet égard, que risquer des hypothèses, et nous faisons appel à tous les botanistes physiologistes. L'étude des microorganismes chez les plantes est encore bien peu, trop peu avancée; il importe de montrer ce vaste champ d'études aux investigations des savants.

Ainsi que l'a fait remarquer récemment E. Laurent, on n'a pas beaucoup de renseignements en ce qui concerne les maladies des plantes. «Jusqu'ici, les botanistes ont peu étudié les questions relatives à la virulence des parasites, à leurs procédés d'attaque des tissus vivants, aux moyens de défense des végétaux. Les phénomènes relatifs aux toxines, aux antitoxines, aux vaccins ne les ont pas beaucoup préoccupés..... Tout un groupe de questions moins faciles à aborder dans l'étude des maladies animales pouvaient être élucidées par des recherches sur les parasites des plantes. Ce sont celles qui sont relatives aux relations entre la vie saprophyte et la vie parasite de beaucoup de Champignons..... La plupart des maladies

qui attaquent les végétaux supérieurs sont causées par des Champignons dont le développement est relativement lent...», c'est pourquoi, dans ses recherches, après divers essais tentés avec des Moisissures, E. LAURENT a utilisé deux bacilles qui sont devenus rapidement des bacilles virulents.

Les microorganismes et leurs ferments solubles. — La question des microorganismes est étroitement liée avec celle des ferments, et chaque jour voit diminuer le nombre des ferments non figurés, et augmenter au contraire le nombre des ferments figurés, c'est-à-dire des microorganismes sécréteurs de principes solubles jouant le rôle de ferments.

Dans ce travail physiologique qu'ils accomplissent, les microorganismes s'associent presque constamment aux moisissures. « Assez souvent, dit à ce propos E. LAURENT, il y a, dans la pourriture mycélienne du Topinambour, de la Carotte et de la Chicorée, symbiose du *Sclerotinia* et du *Bacillus coli communis*. Je m'en suis assuré en plongeant un fil de platine dans des tubercules infectés naturellement ou *artificiellement*, lorsqu'ils sont ramollis ; le fil est ensuite passé à la surface de plaques de moût de bière gélatinisé et stérilisé. Fréquemment, on obtient d'abord des stries de colonies de *Bacillus coli*, puis, quelques jours après, des mycéliums de *Sclerotinia* ». Ces expériences sont parfaitement d'accord avec nos cultures de microorganismes et nous expliquent pourquoi ces cultures ont été, le plus souvent, accompagnées et suivies de moisissures, ainsi que nous l'avons signalé plus haut.

Parenté possible de certains microbes avec certains champignons inférieurs. — Arguments en faveur : 1° *Mode de vie semblable pour quelques-uns.* — A ce sujet, rappelons que la question de parenté et même d'identité voilée entre certaines moisissures et certains microorganismes est, quoi qu'on en ait dit, même récemment(1), loin d'être élucidée. Les moisissures

(1) V. J. BEAUVERIE. *Etudes sur le polymorphisme des Champignons. Influence du milieu* (*Ann. de l'Univ. de Lyon*, 1900).

pourraient être des formes adaptées à la vie en milieux acides ou quelconques, et les microorganismes (notamment les microcoques) seraient des formes dégénérées ou rudimentaires vivant généralement en milieux très peu acides, ou préférablement neutres et alcalins. On connaît, en effet, des bactéries végétant en milieux passablement acides (microcoque du vinaigre, etc.), et réciproquement, des champignons-moisissures, saprophytes ou parasites, vivant en milieux alcalins. Berthelot, dans ses travaux, a insisté sur la solidarité étroite qui unit les Algues et Champignons, fixateurs de carbone aux Bactéries et aux microorganismes, fixateurs d'azote.

2° *Identité de l'alimentation.* — D'autre part, « les aliments des Bactériacées, dit à ce sujet le Dr Wollny, ressemblent à ceux des Mucorinées. Des matières albuminoïdes diffusibles, des combinaisons amidées, des sucres, des sels alcalins, des acides organiques, sont ce qui convient le mieux à la plupart d'entre elles ». Les Bactéries peuvent aussi « se préparer elles-mêmes des aliments utilisables en sécrétant des ferments qui solubilisent diverses matières insolubles ».

3° *Liens entre la symbiose et le parasitisme.* — Nous avons signalé antérieurement les analogies physiologiques constatées entre les Algues et les Champignons inférieurs, ainsi que les exemples de dégradations morphologiques produites par l'adaptation des formes libres à la vie saprophyte et parasite. Au surplus, les liens entre le saprophytisme, le parasitisme et la symbiose sont étroits, et si l'on ne peut pas toujours, à volonté, transformer les organismes inférieurs dans leur mode de vie, rien ne prouve que ces transformations ne s'exécutent pas, lentement et progressivement, dans la nature. Les recherches de Laurent sur la pourriture bactérienne des végétaux sont capitales à ce point de vue. Elles ont démontré que des organismes généralement inoffensifs peuvent, dans certaines conditions, devenir parasites (au sens physiologique du mot) des végétaux et en déterminer la pourriture. « Que de maladies à cause inconnue ont probablement cette origine !» Que de phénomènes considérés comme nouveaux et physiologiques, mais encore inconnus dans leur essence, ont probablement

aussi leur source dans l'action de microorganismes dont nous découvrons, de fait, chaque jour de nouvelles formes.

Les récents travaux sur les bactéries des Légumineuses ont déjà révolutionné nos idées sur l'absorption de l'azote. Or, Laurent a montré que le *Rhizobium leguminosarum* est intermédiaire entre les bactéries vraies et les Champignons inférieurs (Pasteuriacées).

Il est probable, dit à ce sujet Ed. Gain, que d'autres plantes que les Légumineuses sont capables de fixer l'azote libre (1). C'est un champ de recherches des plus intéressants.

4° *Action fermentescible et absorption du carbone et de l'azote.* — Nous connaissons actuellement cinq groupes de *ferments solubles* (ou enzymes, ou zymases) : 1° Ferments agissant sur les *hydrates de carbone :* diastases, maltases, inulases, invertases, tréhalases, ferments cytohydrolytiques de la cellulose, pectase, etc. ; 2° F. décomposant les *glucosides*, avec mise en liberté de sucre et de divers corps de la série aromatique : émulsine ou synaptase, myrosine, érythrozyme, rahmnase, etc.; 3° F. agissant sur les *albuminoïdes* (zymases protéo-hydrolytiques) : pepsine, trypsine, présure, etc.; 4° F. dédoublant les matières grasses : saponases ; 5° F. produits par les *Bactéries*. Ce sont ces derniers qui tendent à augmenter chaque jour de nombre aux dépens des premiers, par suite de la découverte incessante de nouveaux microorganismes. Les bactéries nitrifiantes du sol, selon les récentes recherches de Winogradsky, confirmées par celles de Godlewsky, sont entre toutes remarquables, car elles s'écartent des autres bactéries sous le rapport de la nutrition, en ce qu'elles peuvent assimiler le carbone de l'acide carbonique. Cette découverte nous conduit à renoncer, dit Wollny, « à l'opinion actuellement admise qu'une synthèse complète des substances organiques, par des êtres vivants, indépendamment de la lumière solaire, est impossible, ou du moins il ne faudrait plus lui attribuer qu'une valeur limitée ».

---

(1) V. au chapitre I: Influence du sol. Sol et aliments.

5° *Polymorphisme déjà constaté de quelques organismes inférieurs.* — Sans parler des hypothèses pures des « molécules organiques » de Buffon (*Hist. nat.*, 1749-1788, t. II et IV) et des « globulins punctiformes » de Turpin (1840), qui admettait que les ferments peuvent se transformer en Champignons supérieurs, nous pouvons citer des exemples de polymorphisme.

« Tous les corpuscules décrits sous les noms de *Bacterium*, *Zooglœa*, *Micrococcus*, et sous bien d'autres encore, sont, dit Robin, des cellules végétales, des spores de Champignons de plusieurs espèces distinctes certainement, spores ou corps producteurs de premier ordre, dérivant soit les uns des autres par gemmation ou scissiparité, soit du mycélium, corps reproducteurs, en un mot, de l'ordre de ceux que M. Tulasne a rangés sous le nom de conidies, etc. ». Nægeli et Bréfeld ont partagé cette opinion.

A propos du polymorphisme bien constaté des levures, L. Marchand dit: « En faisant abstraction du passage à l'état de levure lactique, qui n'a encore été qu'entrevu..., la doctrine du polymorphisme admet quatre phases bien déterminées et qui sont: la phase microzymique, la phase toruleuse, la phase mycodermique, la phase mucédinienne. Ajoutons que, dès lors, on est amené à ajouter à celles-ci les phases supérieures, car il a été prouvé qu'un certain nombre de ces Mucédinées, les *Penicillium*, les *Mucor* et les *Aspergillus*, n'étaient que des stades inférieurs de Champignons plus complets... Nous ajouterons que le nombre considérable et pourtant très incomplètement connu des espèces observées à l'état de *Torula* explique celui des Mucédinées qui ont été trouvées. Dans les levures, même les plus pures, on rencontre plusieurs espèces de *Saccharomyces*, sans compter beaucoup d'autres organismes encore, qui peuvent concourir à la fermentation alcoolique, mais qui, lorsqu'on les cultive dans le but de vérifier leur polymorphisme, donnent en même temps des *microzymas* et des *mycodermes* divers, mais se ressemblant tous et ne se dessinant et n'accusant leur vraie nature que lorsqu'ils prennent la forme mucédinienne, venant alors jeter la perplexité dans l'esprit de celui qui expérimente ».

Au surplus, le polymorphisme et le pléomorphisme des Bactéries ont préoccupé de nombreux savants. Les études de Pasteur, Chamberland, Arloing, Chauveau, etc., ont mis hors de doute les formes si variées qui se succèdent aux états successifs de la végétation du Bacille du charbon.

Les recherches de Metchnikoff (*Rev. gén. de Bot.*, 1889 ; — *Ann. de l'Inst. Pasteur*, 1889) sur les états successifs du *Spirobacillus Cienkowskii* ont démontré que ce microbe passe successivement par les phases *Bacterium*, *Bacillus*, *Spirillum*, etc.

Rien ne nous empêche donc d'admettre (sans insister ni exagérer toutefois !) que nos corpuscules mobiles sont peut-être des formes spéciales, particulières, de certains organismes inférieurs ?

Que de recherches à faire encore dans ce monde des infiniment petits !

Est-il maintenant impossible, après ces faits surprenants, que les microorganismes que nous signalons dans les cellules végétales y jouent un rôle important ? Ne se peut-il pas que, sous l'action désacidifiante favorable des sels alcalins et surtout du calcaire, ces microorganismes puissent, d'indifférents, de symbiotiques qu'ils sont peut-être à l'état normal, devenir nocifs, pathogènes et parasites ? Ne peuvent-ils pas, dans ces conditions spéciales, devenir toxiques par leurs sécrétions ou leurs produits solubles ? Ne peuvent-ils pas ainsi devenir le point de départ de phénomènes de fermentation et de décomposition dans les tissus envahis ? Ne sait-on pas, par exemple, que le pectate et le tartrate de chaux donnent du pectate (Bertrand, Mallèvre, etc.) et du propionate de chaux (A. Gautier) par l'action des ferments, et que d'autres tartrates, tels que le tartrate d'ammoniaque, donnent, sous l'influence d'un microbe mobile de la forme du *Bacterium termo*, du succinate, de l'acétate, du formiate et du carbonate d'ammoniaque (Henninger, 1883) ? Ne peuvent-ils pas également, à cause de leur grande abondance dans les cas de chlorose avancée, fixer à leur profit et au détriment de la plante certains aliments, tels que le carbone, l'oxygène, l'azote, etc. ?

Nos conclusions sont provisoires et non définitives. — L'avenir répondra à toutes ces questions intéressantes ; mais quand bien même nos observations et nos idées (que nous ne donnons qu'à titre provisoire et accessoire) seraient aujourd'hui rejetées comme erronées ou hypothétiques, nous avons la conviction que les travaux futurs viendront découvrir dans cette voie des résultats importants et inattendus. Et quand bien même aussi nos «prétendus microorganismes» seraient taxés de particules inertes, de plastides, de microsomes animés de simples mouvements browniens (en ces matières, il n'y a pas de certitude évidente et la discussion reste toujours ouverte aux objections et aux négations), qui viendra nous prouver que ces organites mobiles et prolifiques ne sont pas vivants ? Si les théories bizarres des Wigand, des Béchamp, des Altmann et autres sont présentement enterrées et oubliées, rien ne prouve qu'elles ne ressusciteront pas un jour sous une forme différente, moins extravagante et plus conforme à la réalité. Est-ce que les corpuscules ramifiés, les *bactéroïdes* comme on les appelait, des Légumineuses n'ont pas été traités, d'abord, par de Wries et les physiologistes de cette époque, de corps inertes, simples matériaux de réserve que la plante utilise quand elle en a besoin ? N'a-t-il pas fallu plusieurs années et les travaux magistraux de Prazmowsky, Beyerinck, Bréal, Laurent, etc., pour faire admettre par tous que ces corpuscules bactériformes des nodosités sont bien des êtres vivants, animés, susceptibles même d'être cultivés en milieu artificiels ?

Mode de pénétration des microorganismes dans les cellules. — Quant à la pénétration et au passage des microorganismes de cellule à cellule, c'est un fait aujourd'hui acquis. Il est d'ailleurs admis déjà, en physiologie animale ou végétale, que des particules alimentaires (globules de graisse, globules sanguins, etc.) peuvent pénétrer et traverser *par effraction* les membranes non incrustées. Pourquoi refuserait-on ce pouvoir aux microorganismes? Au surplus, E. Laurent a demontré que chaque microorganisme adapté au parasitisme (Bactérie ou Champignon) peut sécréter une variété spéciale de cytase, ferment dissolvant les membranes cellulaires mitoyennes pour

permettre le passage et la pénétration de ces organismes. Laurent a démontré, en outre, que ces cytases sont plus abondantes et plus actives en milieu neutre ou alcalin qu'en milieu acide, fait qui concorde avec la pullulation et l'envahissement général de nos microorganismes dans les feuilles très chlorotiques.

Résumé des troubles trophiques. — En définitive, les phénomènes d'assimilation et d'élaboration dans les feuilles chlorotiques sont troublés ou arrêtés. Aucune matière de réserve (amidon notamment) ne s'y forme et, par conséquent, le système vasculo-libérien ne peut transporter, en fait de sève élaborée, qu'un liquide pauvre et pour ainsi dire inerte. Conséquemment, la nutrition intracellulaire et intercellulaire est suspendue, non seulement dans les feuilles, lieux d'élaboration, mais aussi dans les tiges et les racines, lieux de fixation, de conduction, de réserve et de soutien.

Infécondité des plantes chlorotiques. — Les bourgeons floraux, sur lesquels la sève se précipite, ne peuvent non plus se développer; d'où un arrêt ou au moins un retard considérable dans la floraison des plantes chlorotiques et une fructification absente ou compromise, ainsi que l'ont démontré nos cultures de plantes silicicoles en sols calcaires. D'ailleurs, l'infécondité des arbres fruitiers et de la Vigne chlorotiques est un fait bien connu de tous les agronomes. Frank, dans ses études sur la chlorose des Vignes d'Allemagne et des plaines du Rhin, dit que les ceps jaunes ne portent que de mauvais raisins, dont les baies restent petites et tombent sans pouvoir arriver à maturité. Nous avons cité plus haut l'opinion analogue de Viala sur ce sujet. Il y a plus: ainsi que l'a fait remarquer G. Coutagne, le fait que dans un terrain donné telle Vigne américaine, même greffée, reste verte, ne prouve nullement que la dose de calcaire de ce terrain, même faible (10, 15, ou 20 o/o) et insuffisante pour amener la chlorose, ne soit pas suffisante pour diminuer beaucoup la fécondité. Nos considérations précédentes sur le processus chlorotique nous portent à considérer cette remarque comme exacte, puisque la

chlorose foliaire n'est qu'un épisode, un effet de la dystrophie générale et de la faiblesse constitutionnelle de la plante silicicole sous l'influence du calcaire.

La plante entière dépérit donc, et si les conditions physico-chimiques du substratum ne sont pas promptement améliorées par des engrais et des amendements, ou par le repiquage et la transplantation, le végétal chlorotique est fatalement voué, après une dystrophie et un dépérissement progressifs, non seulement à la stérilité et à l'asthénie, mais à la mort !

III.— RÉSUMÉ DU PROCESSUS CHLOROTIQUE

1° Le système radiculaire des plantes silicicoles en sols calcaires est altéré ou au moins maladif ; et son fonctionnement, d'où dépend la vie du végétal tout entier, est profondément troublé. C'est dans le sol que réside toujours la source première, la cause initiale de la chlorose.

2° La sève brute absorbée dans ces conditions défectueuses n'a plus sa constitution physico-chimique normale et nécessaire ; elle est trop riche en sels alcalins (sels de chaux notamment), au détriment de la potasse et du phosphore.

3° L'excès ou le défaut de l'émission aqueuse par les feuilles, selon l'état calorique ou lumineux de l'atmosphère, provoque dans les cellules élaboratrices du mésophylle des troubles et des arrêts fonctionnels : déshydratation ou hydratation exagérée; désagrégation, dessiccation des matières albuminoïdes, de la chlorophylle ; arrêt de formation des matières de réserve ; perte de la turgescence des cellules ; altérations chimiques des membranes ; arrêt des échanges intercellulaires et des réactions intracellulaires ; et finalement dégénérescence complète et mort des cellules.

4° L'assimilation et l'élaboration minérales faisant défaut, la sève n'est pas élaborée ; aucune matière d'entretien ou de réserve n'est transportée dans les systèmes radiculaire et caulinaire ; la plante entière dépérit progressivement et meurt.

5° La diminution considérable de l'acidité normale des sucs internes favorise la pullulation de microorganismes qui peu-

vent, dans ces conditions, devenir nocifs et pathogènes, et contribuer à la dystrophie et à l'intoxication générales.

6° La chlorose foliaire n'est donc qu'un des effets (le plus net et le plus visible), une des manifestations (la plus importante) d'un état dystrophique général dont la cause principale réside dans une défectuosité chimique ou physico-chimique du sol, avec causes accessoires (extrinsèques ou intrinsèques) aggravantes ou atténuantes.

CHAPITRE CINQUIÈME

EXAMEN CRITIQUE DES DIVERSES CAUSES GÉNÉRATRICES OU MODIFICATRICES DE LA CHLOROSE

Nous étudierons, suivant l'ordre indiqué dans le tableau suivant, les différents facteurs auxquels on a attribué un rôle dans la génération, l'aggravation ou l'atténuation de la chlorose.

I. CAUSES EXTRINSÈQUES

1° Causes géiques (état chimique et physique du substratum)

A. ÉTAT CHIMIQUE

- α. *Sol en général*
  1. Sols fertiles.
  2. Sols pauvres.
  3. Sols incomplets.
  4. Sols acides.
- β. *Eléments chimiques du sol pris séparément*
  5. Calcaire.
  6. Plâtre, Gypse.
  7. Dolomie, Magnésie.
  8. Sel marin.
  9. Potasse.
  10. Fer.
  11. Silice.
  12. Phosphates et acide phosphorique.
  13. Azote et nitrates.
  14. Acide carbonique.
  15. Sels divers.

B. ÉTAT PHYSIQUE ET TOPOGRAPHIQUE

- α. *Sol en général*
  16. Tassement, compacité.
  17. Manque de profondeur.
  18. Couleur.
  19. Humidité.
  20. Sécheresse.
  21. Chaleur.
  22. Froidcur du sol.
  23. Configuration.
- β. *Eléments physiques pris séparément*
  24. Etat physique du calcaire.
  25. Argile, sols argileux.
  26. Sable.
  27. Humus, matières organiques

2° Causes météorologiques

- α. *Climat*
  28. Climat en général.
  29. Températures chaudes.
  30. Températures froides.
  31. Pression atmosphérique.
  32. Agitation atmosphérique.
  33. Composition de l'atmosphère
- β. *Lumière*
  34. Excès.
  35. Insuffisance.

3° Causes agrotechniques
  36. Culture générale.
  37. Greffage.

4° Causes animées
  38. Action des animaux.
  39. Action des végétaux.
  40. Action des microorganismes

II. CAUSES INTRINSÈQUES
  41. Hérédité.
  42. Tempérament individuel.
  43. Causes intrinsèques diverses

III. CAUSES DIVERSES
  44. Causes mixtes et multiples.
  45. Causes accidentelles.

IV. TABLEAU RÉSUMÉ ET COMPARATIF DES CAUSES ATTENUANTES ET AGGRAVANTES.

V. CONCLUSIONS. ERREURS D'INTERPRÉTATION.

I

1° CAUSES EXTRINSÈQUES GÉIQUES

A. — ÉTAT CHIMIQUE DU SOL

α. SOL EN GÉNÉRAL

Les observations antérieures des agronomes et nos recherches personnelles ont démontré, nous l'espérons, l'origine essentiellement *souterraine* des manifestations chlorotiques végétales.

Les agents atmosphériques ou autres n'interviennent, ainsi que nous le verrons, que secondairement et irrégulièrement.

La chlorose végétale a donc bien sa source dans une défectuosité du substratum. L'étiolement, au contraire, provient uniquement de l'absence totale de lumière.

« La cause primordiale, on pourrait presque dire la cause unique de la chlorose, réside essentiellement, dit Félix Sahut (1), dans la nature du sol ».

« L'étude préalable du sol, dit Prosper Gervais, est indispensable ; elle est la base même du problème à résoudre... ».

Si donc la majorité des auteurs attribuent au sol l'influence prépondérante dans la génération de la chlorose, les opinions sont extrêmement partagées sur la détermination de « l'influence chlorosante » propre à chacun des éléments chimiques ou physiques du sol.

1. Sols trop fertiles

Bien que A. Bernard (1893) ait affirmé que la richesse ou la pauvreté du sol en éléments fertilisants n'atténue pas l'ac-

---

(1) Les auteurs dont nous citons les opinions ne sont point nécessairement les premiers ou les seuls à émettre ces opinions. Nous tenons à préciser ce point, pour rendre nulles et non avenues toutes réclamations et rectifications qui pourraient se produire.

tion nocive du calcaire, plusieurs observateurs (notamment Castel en 1892, etc.) ont signalé l'atténuation apportée au pouvoir chlorosant des terrains calcaires par la fertilité du sol Cela se comprend, parce que la forte proportion d'aliments minéraux absorbables atténue la disproportion quantitative et surtout qualitative du calcaire.

Toutefois, la trop grande fertilité d'un sol, en produisant un excès rapide de la végétation, peut rendre certaines plantes momentanément et légèrement chlorotiques (J. Sachs, etc.).

La chlorose par pléthore (Joulie) et la chlorose par concentration (Marguerite-Delacharlonny) sont également produites par un excès d'aliments.

Lesage (1890), Schimper (1891) et d'autres ont démontré que l'excès dans le sol des éléments fertilisants empêche la formation de la chlorophylle dans la plante.

2. Sols pauvres (défaut d'éléments minéraux)

Les sols pauvres, ne fournissant qu'une alimentation insuffisante, sont capables d'aggraver la chlorose (G. Foex, K. Libank, 1888 ; Viviand-Morel, 1891, etc.). Il en est de même des *sols épuisés*, ainsi que Willermoz l'a indiqué dès 1857 pour les Poiriers en particulier.

3. Sols incomplets (disproportion ou défaut de quelqu'une des matières minérales)

C'est un peu le cas pour l'excès de calcaire dans le sol ; mais, à cause de l'extrême importance de cette cause de chlorose, nous l'avons étudiée à part et en détail dans le précédent chapitre, et nous n'en redirons que quelques mots plus loin.

Certains auteurs ont prétendu, dans cet ordre d'idées, que c'est dans le manque de potasse que réside la cause de la chlorose des plantes silicicoles en sols calcaires (K. Libank, 1888, etc.). Selon nous, le manque de potasse, bien qu'ayant une action, ne suffit pas ; il faut aussi l'excès de calcaire. Il est certain néanmoins que l'*alimentation incomplète* est une cause de dystrophie pour les plantes. Les chloroses observées par certains botanistes lyonnais, Viviand-Morel notamment,

sur les plâtras de l'usine Coignet, étaient causées en partie par le défaut de proportion entre les éléments minéraux du sol.

En général, toutes les fois que, dans les feuilles d'un végétal, un ou plusieurs des principes constituants essentiels, par exemple l'acide phosphorique, la potasse, etc., descendent au-dessous d'un certain taux, variable et spécifique, elles s'altèrent et jaunissent. La comparaison chimique des feuilles jaunies et vertes peut donc, dans une certaine mesure, permettre de se rendre compte de la nature des principes qui font défaut au sol.

4. Sols acides

Les sols *trop acides* peuvent amener la chlorose passagère de plantes diverses, calcicoles de préférence. Au surplus, on a remarqué que les plantes silicicoles sont toujours plus riches en acides (acides phosphorique, sulfurique, etc.) que les autres.

§ PRINCIPAUX ÉLÉMENTS CHIMIQUES DU SOL PRIS SÉPARÉMENT

5. Calcaire ou carbonate de chaux

Nous ne reviendrons point ici sur les considérations que nous avons développées dans les chapitres précédents et nous admettrons, comme une vérité irrévocablement démontrée, et acquise, l'influence chlorosante du calcaire sur les plantes silicicoles.

Nous rappellerons encore que beaucoup de botanistes et la plupart des viticulteurs (notamment Contejean, Fliche, Grandeau, en 1875 ; Chauzit, Viala, Ravaz, Petiot (1891) ; A. Bernard, G. Coutagne, en 1892 ; Houdaille et Semichon, en 1894 ; Prosper Gervais, etc., etc.) ont, bien avant nous, considéré le calcaire comme cause primordiale de la chlorose des Vignes américaines et de certaines plantes. Nos expériences ont étendu cette observation à la chlorose de toutes les plantes silicicoles et même indifférentes, et nous ont permis d'édifier une théorie rationnelle du processus chlorotique.

Avec Viala, nous affirmons hautement que la Vigne ne jaunit jamais « ailleurs que dans les sols calcaires, et cette observation s'étend à toutes les plantes..... Une Vigne peut être dans le plus mauvais état, rabougrie, atteinte de n'importe quelle maladie, dans une terre non calcaire elle ne jaunira jamais nettement ». Si nous nous en tenons à la proportion quantitative de calcaire, nous rappellerons que les plantes silicicoles que nous avons expérimentées, Lupin, Orobe, Scléranthe, Digitale, Jasione, etc., se chlorosent dès que le sol contient 6 à 12 o/o de carbonate de chaux en moyenne, et périssent dès que la proportion dépasse 15 à 20 o/o.

Les recherches et analyses de B. Chauzit, Lagatu, A. Bernard, et de beaucoup d'autres viticulteurs distingués, ont démontré que la plupart des plants américains (*Riparia*, *Rupestris*, etc.), employés comme producteurs directs ou comme porte-greffes, ne prospèrent pas et se chlorosent au delà de 25 à 30 o/o de calcaire.

Mais, ainsi que nous le verrons plus loin, la teneur quantitative, le *pourcentage* du carbonate de chaux ne suffit pas pour déterminer *a priori* si un terrain est peu chlorosant, moyennement ou énergiquement chlorosant. Il faut préciser aussi l'origine, la forme, la ténuité, la vitesse d'attaque spécifique, etc. Nous ne parlerons ici que de l'origine géologique du calcaire.

Les calcaires des *assises métamorphiques* et de *transition* (cipolins ; calcaires dévoniens, permo-carbonifères, etc.) sont en général très durs et difficilement attaquables ; leur pouvoir chlorosant est toujours relativement faible. Les calcaires des *assises jurassiques* sont généralement assez durs, à grain grossier et peu assimilables. Leur pouvoir chlorosant est ordinairement d'intensité moyenne. Par contre, le plus souvent, les calcaires des *assises crétacées* et *tertiaires* sont tendres, friables, blancs et à grain très fin, et par conséquent beaucoup plus solubles et absorbables. En une même région et en une même formation géologique, toutes choses égales d'ailleurs, c'est le sol le plus calcaire qui sera le plus chlorosant.

En outre, rappelons que le calcaire n'occasionne la chlorose que lorsqu'il existe dans la couche de terre où vivent les raci-

nes. Cette couche *végétative*, variable selon les plantes, est d'environ 0 m. 30 pour les plantes herbacées, 0 m. 60 à 0 m. 80 pour les arbustes comme la Vigne, 1 à 2 mètres pour les arbres fruitiers, et 2 à 3 mètres pour les grands arbres (Châtaigniers, Peupliers, Chênes, Conifères, etc.).

Quant au sous-sol, ainsi que l'a observé, entre autres, Ravaz pour la Vigne en 1889-90, quelle que soit sa teneur en calcaire, il n'est en aucune façon un obstacle à la croissance des plantes les plus calcifuges et, par suite, des Vignes américaines, qui sont d'ailleurs beaucoup moins sensibles au calcaire que les plantes calcifuges sauvages. La terre végétale a donc seule une action réelle. Rappelons aussi que pour un certain nombre de plantes, l'absence de calcium dans le substratum entraîne (expériences de Lœw sur les Algues, etc.) une diminution de l'appareil chlorophyllien.

6. Sulfate de chaux : Gypse, Plâtre

Les opinions sont partagées relativement à l'influence nocive du sulfate de chaux.

D'après des expériences de laboratoire exécutées il y a une dizaine d'années par U. Gayon, de Bordeaux, le plâtre déterminerait, à partir de 10 o/o, la chlorose de certaines Vignes, telles que le *Cabernet-Sauvignon*. Mais, en 1892, B. Chauzit a conclu, contrairement aux assertions de Gayon, qu'en sols naturels la présence du plâtre, même à haute dose, ne détermine pas la chlorose ; cette dernière ne se déclare en terrains gypseux que lorsque ces sols sont en même temps calcaires. Ces faits avaient été notés vaguement d'ailleurs en Bourgogne, ainsi que l'a rappelé Viala. C'est donc bien le calcaire le seul coupable. D'après Chauzit, le sulfate de chaux, qui est assez soluble dans l'eau, pénètre dans les tissus de la plante, mais n'est pas décomposé par les acides organiques. Au contraire, le bicarbonate de chaux, une fois dans la cellule végétale, serait facilement détruit par ces mêmes acides. Il y aurait ainsi absorption limitée (admise aussi par Viala, etc.) ou continue de carbonate. La chaux, dans ces sols mixtes calcaréo-gypseux, s'accumulerait donc seule dans les tissus, ce qui produirait

une gêne, un trouble dans la vie de la plante. D'où, chlorose par le calcaire qui est le seul agent actif, et non pas le plâtre.

Les renseignements sont toutefois encore incomplets, et l'action chlorosante possible du plâtre est encore fort mal connue. Il y a plus : ainsi que nous le verrons aux traitements, la chlorose pourrait, en quelques cas, être guérie par le sulfate de chaux !

7. Carbonate de magnésie, Dolomie et autres sels magnésiens

Le carbonate de magnésie ne détermine pas la chlorose comme le carbonate de chaux. Ainsi que l'ont observé Jean-Jean, Déjardin, Chauzit, etc., les Vignes américaines cultivées dans les terrains dolomitiques infra-liasiques, bajociens et bathoniens du sud du département du Gard, prospèrent très bien, même les *Riparia*, malgré des doses de dolomie atteignant jusqu'à 42 o/o.

Les sels de magnésie auraient même une influence antichlorosante. Ainsi, selon R. Gavoty, l'aspersion d'une solution, même faible, de magnésie sur des feuilles jaunes, ramène sur ces feuilles un verdissement sensible. Il est fort probable, ajoute cet auteur, que la présence d'une certaine quantité de magnésie dans un terrain calcaire a également pour effet de combattre l'action chlorosante du calcaire.

« Il est très probable, dit G. Coutagne (1893), que, toutes choses égales d'ailleurs, le calcaire dolomitique est d'autant moins nuisible qu'il est plus magnésien. Chacun sait, en effet (Houdaille et Semichon, entre autres, ont effectué l'étude précise de ce phénomène), que le calcaire dolomitique est d'autant moins rapidement dissous par les acides faibles qu'il est plus riche en magnésie. Tous les calcaires à *faible vitesse d'attaque par les acides* sont-ils, de même, moins nuisibles, et se rapprochent-ils à cet égard du gypse qui, lui, n'est pas nuisible du tout, n'étant pas attaqué par les acides faibles» ?

Metgé (1895) a signalé aussi l'action atténuante de la magnésie. Toutefois, ici, comme pour le plâtre, des expériences précises sont à désirer.

8. Chlorure de sodium ou sel marin

La diminution de la chlorophylle, la flavescence des feuilles des plantes des terrains salés est un fait connu depuis longtemps ; cette diminution chlorophyllienne va même jusqu'à la chlorose pour les plantes qui redoutent le sel. Batalin (1884), Brick (1888), Costantin (1887), et surtout Lesage (1890), ont étudié ces cas de chlorose légère par le sel marin.

Dehérain a prouvé expérimentalement que la chlorose peut provenir d'une trop grande absorption de chlorures. On sait aussi que le jaunissement des Vignes dans les terrains saumâtres et salés du littoral est dû en grande partie à l'action du chlorure de sodium.

Par contre, quelques plantes halophiles deviennent chlorotiques si l'on supprime le sel marin de leur alimentation. Au surplus, l'influence chimique du sel marin est admise par tous les botanistes ; nous l'avons développée en détail antérieurement.

9. Sels potassiques

L'action chlorosante de la potasse est à peu près nulle. C'est plutôt par le manque de potasse que certains végétaux spécialement kaliphiles pourraient se chloroser, très légèrement d'ailleurs.

On sait, en effet, depuis les recherches de Nobbe (1871), en particulier, que la potasse paraît indispensable à la constitution de la chlorophylle et de l'amidon. Les plantes silicicoles chlorosées en sols calcaires accusent une diminution considérable des sels potassiques. Peut-être y a-t-il dans ce fait l'explication d'une des causes chimiques de la dystrophie des silicicoles chlorotiques ?

10. Sels de Fer

Le fer est nécessaire à la vie des plantes. Dès 1840, Eusèbe et Arthur Gris ont démontré l'influence bienfaisante du sulfate de fer sur les feuilles chlorotiques. Lors de la reconstitution du vignoble français, L. Vialla a constaté après enquête, dès 1873, que partout les terres silico-ferrugineuse sont indemnes de chlorose.

L'atténuation de la chlorose par le fer a été remarquée depuis longtemps, non seulement par les nombreux expérimentateurs des divers traitements ferrugineux antichlorotiques, mais également dans les sols naturels. Petiot en 1891 a signalé, au Congrès de Beaune, la fugacité de la chlorose en sols ferrugineux.

Chauzit, A. Bernard, Bagnet, Boiret et Paturel en 1892 ont démontré que le fer neutralise le calcaire, et qu'il le détruit même par son passage à deux degrés différents d'oxydation. Le sol se trouve ainsi décalcarisé progressivement. Mais si le fer est, en quelque sorte, un antidote, un contre-poison du carbonate de chaux, s'ensuit-il que le manque de fer suffit pour provoquer la chlorose ? Oui, pour beaucoup d'auteurs ; non, pour un certain nombre. Voici, d'ailleurs, les principales opinions pour et contre.

Dès 1851 et 1856, le prince de Salm-Horstmar, pour s'assurer que le manque de fer est au moins l'une des causes du jaunissement des plantes, fit des semis d'Avoine dans du sable calciné absolument privé de ce métal. Voici la conclusion de ces expériences : « Sans fer, la couleur verte manque plus ou moins à la plante, qui ressemble à un végétal venu dans un milieu obscur ».

Pfaundler (vers 1855), dans ses expériences sur la végétation, a constaté que, lorsque le fer manque, les feuilles sont blanchâtres ; celles qui se développent plus tard, encore plus que les premières.

Julius Sachs (1860-61) vit le même résultat se produire en cultivant, dans l'eau privée de fer, du Maïs et des Choux. En ajoutant au liquide nourricier une petite quantité de fer soluble, il vit la couleur verte normale apparaître au bout de trois à quatre jours. Sachs en a conclu que le manque de fer est la cause de la chlorose des arbres et arbustes, et que le fer est le véritable spécifique contre la chlorose.

En 1890, Detmer a relaté ainsi ses expériences dans son *Manuel de physiologie* : « Dans les solutions nutritives sans fer, les plantes produisent d'abord des feuilles vertes normales ; mais bientôt surgissent des symptômes de maladie.

Les matériaux d'étude, quand la réserve en fer des graines est épuisée, deviennent notamment panachés et chlorotiques. Les feuilles qui se développent alors ne sont plus vertes, mais blanches, et en les examinant au microscope, on remarque qu'il n'existe plus de grains de chlorophylle dans leurs cellules. Si nous ajoutons quelques gouttes d'une solution étendue de chlorure de fer à la solution nutritive, les feuilles primitivement blanches reverdissent en deux ou trois jours, et la croissance des plantes s'accomplit normalement ».

En 1890 également, Marguerite-Delacharlonny, l'un des plus zélés promoteurs des traitements au sulfate de fer, a admis la chlorose *sineferreuse*.

En 1889-1893, Zimmermann, dans de nouvelles expériences qui ont porté notamment sur *Cytisus alpinus*, *Rosa*, *Quercus pannonica*, *Zea mays*, *Canna annei*, *Carya alba*, *Spiræa callosa*, *Cydonia vulgaris*, *Ribes*, a démontré de nouveau que le manque de fer engendre la chlorose, et que l'apport du fer favorise le reverdissement, l'accroissement et la multiplication des grains chlorophylliens, mais que ces grains ne se reconstituent pas si la chlorose a été assez intense pour les détruire complètement.

La plupart des auteurs allemands n'accordent d'ailleurs que peu d'importance au calcaire et attribuent la chlorose au manque de fer. Frank, dans le tome I de son Traité de pathologie végétale (1896), dit catégoriquement que le manque de fer occasionne la chlorose dans toutes les plantes vertes, parce que, dit-il, le fer est nécessaire à la formation de la chlorophylle.

Un certain nombre de viticulteurs (Félix Sahut, 1886, etc.) ont vu aussi dans le manque de fer la cause principale de la chlorose.

Les recherches des auteurs précités semblent donc démontrer péremptoirement la production de la chlorose en l'absence de fer assimilable dans le substratum.

Par contre, on peut objecter à certaines de ces expériences, par exemple à celles de Salm-Horstmar, que la chlorose s'est produite par défaut d'aliments autres que le fer, ou par alimentation incomplète. Au surplus, l'excès de fer est nuisible aux

plantes, ainsi qu'ont pu le constater bon nombre de viticulteurs à la suite de traitements intempestifs ou exagérés.

Sachs ne trouve d'autre motif à invoquer, contre cette objection, qu'un trouble des fonctions qui empêche le fer d'arriver aux feuilles. Ce trouble, selon lui, réside probablement dans les tissus conducteurs.

En 1862-63, Knop écrivait : « Le rôle qu'on a attribué à ce métal (fer) dans la formation de la chlorophylle et par là dans la coloration des plantes n'est pas sûrement exact.... C'est à tort qu'on a attribué au fer la propriété de rendre les plantes vertes ».

D'autre part, Boussingault a démontré, dès 1874, que les feuilles chlorosées ou non chlorosées renferment des quantités de fer à peu près équivalentes.

En 1889, Dubourg a conclu de ses recherches que la chlorose n'est due qu'exceptionnellement à une insuffisance de fer assimilable dans le sol.

Les observations de B. Chauzit (1889) et de G. Foex ont montré aussi que les terres à chlorose intense contiennent souvent plus de fer que les terres non chlorosantes. « Il est vrai, dit P. Viala (1893), que dans beaucoup de ces terres, le fer ne s'y trouve peut-être pas au même état d'oxydation et par suite d'assimilabilité. Mais il est d'observation courante que les terres de *groies* des Charentes, de *grèves* de la Bourgogne, et de beaucoup de points de l'Hérault, où les Vignes jaunissent, sont justement très colorées en rouge par du sesquioxyde de fer qui est, dit-on, plus apte à être assimilé sous cette forme. En outre, des terres très siliceuses, presque entièrement blanches et, par suite, pauvres en fer assimilable, ne portent jamais de Vignes jaunes. Il faut en conclure que le fer, quel que soit l'état sous lequel il se trouve dans le sol, ne peut en rien arrêter la chlorose et que son absence n'est, en aucune façon, un obstacle à la bonne venue des Vignes américaines».

Plus récemment, en 1895, J. Crochetelle, par des analyses de feuilles de Poirier, dont les résultats concordent d'ailleurs avec ceux de Joulie (1888) et de Degrully et Gastine (1894) pour la Vigne, a conclu que « ce n'est pas le manque de fer qui produit la chlorose ». Degrully et Gastine sont même arrivés à ce

résultat que les feuilles chlorosées sont plus riches en fer que les feuilles non chlorosées !

Enfin KURMANN, qui a étudié spécialement les vignobles du sud du Tyrol, a observé l'apparition de la chlorose sur des sols calcaires et humides ; mais, n'ayant obtenu aucune amélioration après addition de sulfate de fer, il a conclu que ce n'est pas le manque de fer qui produit la chlorose.

La question du fer, agent générateur ou modificateur de la chlorose, n'est donc point encore complètement élucidée. Au surplus, croyons-nous, ce n'est point le fer seul qui agit dans l'un et l'autre cas, mais bien la réaction des sels de fer sur les sols alcalins et sur diverses matières végétales.

11. Silice

L'action de la silice dans les phénomènes chlorotiques est encore très imparfaitement connue. Toutefois, pour les plantes calcifuges et la Vigne américaine en particulier, les principaux auteurs, CLARY, LADREY, PETIT-LAFITTE, JULLIEN, H. MARÈS, CASTELLET, VERGNETTE-LAMOTTE, RENDU, GUYOT, DIEGO-SOLER, etc., etc., sont unanimes à reconnaître que les sols *siliceux* sont les seuls où ces plantes puissent prospérer. Au Congrès de Beaune (1891), PETIOT a attribué à la silice une action atténuante dans la chlorose.

Certains auteurs ont pourtant signalé des chloroses en sols siliceux (*chlorose acide* de MARGUERITE-DELACHARLONNY, 1890) ; cette chlorose est, en tous cas, rare et secondaire, et on peut l'admettre parce que le manque absolu de calcaire peut devenir un obstacle à la nitrification et conséquemment à la nutrition. « La silice, qui se présente sous des états différents et dont le rôle, dit PROSPER GERVAIS, est peut-être insuffisamment précisé, semble exercer une action parfois nuisible, comme par exemple dans certains terrains de Maine-et-Loire, où elle s'unit au calcaire sous une forme colloïdale ».

Cette opinion nous paraît, dans sa forme prudente, assez conforme à la réalité.

12. Phosphates et Acide phosphorique

Les agronomes et les chimistes connaissent le rôle important de l'acide phosphorique et des phosphates dans la formation de la chlorophylle. Ces données ont été confirmées par les études de Loew vers 1890: ayant cultivé pendant deux mois des Algues dans des solutions nourricières, les unes pourvues, les autres dépourvues d'acide phosphorique, il a remarqué que, malgré la présence du fer, les individus privés de cet acide prennent une coloration jaunâtre, tandis que les autres sont d'un beau vert foncé.

La présence d'une dose élevée d'acide phosphorique atténue donc la chlorose ; le défaut de ce corps aggrave la chlorose.

13. Azote et Nitrates

Depuis les expériences de Boussingault, De Vilmorin, Kuhlmann, Lawes et Gilbert, Georges Ville, etc., on connaît le rôle considérable exercé par les nitrates (notamment par le nitrate de soude ou salpêtre du Chili) sur le verdissement et le développement des plantes, des Graminées surtout.

« Les nitrates, à la condition, bien entendu, que la base ne soit pas toxique, sont donc, dit Ed. Griffon, de puissants agents du verdissement. La teinte verte très foncée qui se produit ainsi est bien due à l'abondance de la chlorophylle.... D'autre part, l'énergie assimilatrice de ces feuilles très vertes est notablement supérieure à celle des feuilles restées pâles par suite du défaut d'azote nitrique ». On sait que Georges Ville a attribué le verdissement des feuilles à l'azote et non au fer. L'absence d'azote peut occasionner le jaunissement passager (*chlorose anazotique* de Marguerite-Delacharlonny).

« Aussi, dit Crochetelle, assurer une bonne nitrification est un moyen sûr d'éviter la chlorose ».

Pichard a montré que les nitrates, à dose convenable, excitent les plantes à prendre les autres éléments. Le ton vert des feuilles est manifestement plus foncé, dans les cultures, aux endroits où l'on a répandu des nitrates.

Mais l'excès d'azote peut aussi amener l'apparition des symptômes chlorotiques. Viviand-Morel, entre autres, a remarqué

que l'azote des fumiers donne la chlorose aux espèces de terre de bruyère.

« La chlorose, dit également Crochetelle (1895), peut se manifester dans les terrains riches en humus ».

Cazeaux-Cazalet a constaté en 1888 que le sulfate d'ammoniaque, le nitrate de soude et le fumier aggravent la chlorose.

A. Bernard a constaté aussi que les plantes se chlorosent dans les terres de jardin qui contiennent, avec peu de carbonates, un excès de matières organiques (12 à 16 o/o environ).

14. Acide carbonique

Jentys (1892) a démontré que l'atmosphère des interstices du sol est toujours riche en acide carbonique. La proportion peut varier de 1 à 10 o/o.

Or, Coste-Floret (1893 et 1898) a attribué la chlorose intense à l'excès d'acide carbonique dans certains sols.

Cette question est encore insuffisamment étudiée.

15. Sels divers

D'après des expériences dirigées en 1888 par Cazeaux-Cazalet, le chlorure de potassium, le superphosphate de chaux, aggraveraient la chlorose au lieu de l'atténuer.

D'autre part, les sels de baryum, de zinc, de cuivre, d'étain, de plomb, etc., par leur toxicité, occasionnent le rabougrissement et le jaunissement des plantes.

Nous avons nous-même observé ce fait sur les plantes croissant aux abords des déblais des anciens gisements de baryte et de plomb du Lyonnais (environs de Sainte-Foy-l'Argentière) et du Beaujolais (environs des Ardillats).

B. — ÉTAT PHYSIQUE ET TOPOGRAPHIQUE DU SOL

α. SOL EN GÉNÉRAL

Certains états de constitution physique et de configuration topographique du sol ont, sur la chlorose des plantes, une influence que quelques auteurs (E. Petit en 1888, etc.) ont cru pouvoir, à tort selon nous, considérer comme prépondérante.

« La chlorose, dit G. Foex, paraît être le plus souvent produite sous l'influence des propriétés physiques du sol ».

La compacité, la couleur, l'état d'humidité ou de sécheresse, la température, la topographie, ont évidemment une action appréciable, souvent importante, ainsi que nous allons le voir, mais cependant toujours accessoire et subordonnée à l'influence chimique.

16. Tassement, Compacité, Ténacité

Puisque le sol doit toujours être suffisamment meuble pour permettre l'aération suffisante, les sols compacts ne pourront, par conséquent, qu'être nuisibles et aggraver la chlorose.

Cazeaux-Cazalet (1885-89), Ménudier (1886), Despetis (1886), Em. Petit (1886), etc., ont expliqué cette aggravation dans les sols compacts soit par la compression mécanique, la difficulté de pénétration et les troubles respiratoires (asphyxie) des racines, soit par la lenteur de réchauffement du sol et son défaut d'aération.

Félix Sahut (1887), Marguerite-Delacharlonny (1898, *chlorose par étouffement*), Metgé (1895), etc., etc., attribuent aussi une action aggravante à la ténacité, au tassement et à la compacité du sol.

« La compacité du sol, dit Ravaz (*Progrès agricole*, 1898), est par elle-même une cause de mauvais développement qui n'agit pas de la même manière sur tous les cépages », et, conséquemment, peut aggraver beaucoup la chlorose surtout sur les Vignes à racines grêles qui seront beaucoup plus gênées dans leur développement et qui souffriront alors beaucoup plus de l'action du calcaire.

Dès 1886, F. Sahut avait signalé la compacité du sol comme cause de chlorose dans certaines plantations de *Jacquez*. Il a conseillé d'éviter soigneusement le tassement du terrain, surtout quand le sol contient beaucoup d'argile ou de marne.

17. Epaisseur insuffisante

Willermoz (1857) et nombre d'autres observateurs ont signalé des cas de chlorose occasionnés par l'épaisseur insuffisante du sol. Nous devons ajouter que, dans ce cas, la chlo-

rose ne se produit généralement que si le sol contient du calcaire, car nous avons observé bien souvent, dans les Monts Lyonnais granito-gneissiques, des Pins sylvestres, des Châtaigniers, des Chênes, et une foule d'autres végétaux poussant dans une couche de terre très mince reposant directement sur la roche dure, et jamais nous n'avons observé de chlorose, mais seulement du rabougrissement et du nanisme.

18. Couleur

Les sols de couleur foncée absorbent très facilement la chaleur, réchauffent par conséquent le système radiculaire et ne réfléchissent pas le calorique.

Ces sols sont peu chlorosants quand ils ne sont pas trop compacts.

Les sols de couleur claire, les sols blancs, comme les terrains crayeux, sont au contraire froids, et la chaleur solaire, au lieu d'y pénétrer, se réfléchit sur les feuilles et les organes aériens des plantes. Ces sols sont toujours très chlorosants, même quand ils sont meubles. Dès 1880, Verneuil a signalé l'échec des plants américains dans les terrains calcaires blancs et tendres des Charentes.

Selon L. Vialla (*Congrès de Bordeaux*, 1886), les terres rouges, riches en oxyde de fer, n'engendrent pas la chlorose à cause de la température élevée qu'elles acquièrent, grâce à leur coloration.

Les terrains anciens (primitifs et primaires) et les roches éruptives donnent en général des sols foncés, tandis que les terrains crétacés et tertiaires sont ordinairement de couleur claire. L'influence de la couleur des sols est donc liée aux conditions de température et de lumière.

19. Humidité

L'excès d'humidité seul ne peut engendrer la chlorose, car, ainsi que le fait remarquer Cazeaux-Cazalet (1888), on ne voit pas de chlorose partout où il y a de l'humidité en excès. « L'humidité, dit cet auteur, est une simple circonstance aggravante qui masque la véritable origine de la chlorose ».

D'ailleurs, l'humidité n'est nuisible qu'au printemps ; les pluies d'été atténuent au contraire la chlorose en rafraîchissant le sol, en diluant la sève et en rétablissant l'équilibre entre l'évaporation et l'absorption.

L'humidité n'a aucune action, même légèrement aggravante, en sols *non* calcaires. Ainsi, comme l'a fait remarquer Viala, en Saumurois, les Vignes des coteaux crétacés des rives de la Loire, toujours secs, sont fréquemment jaunes ; celles de la plaine, à sol argileux compact et retenant l'eau, sont toujours entièrement vertes. En Gironde, Languedoc, etc., ces exemples abondent.

Mais en terrains calcaires, c'est au printemps et après les pluies abondantes que les plantes jaunissent le plus. Ces chloroses printanières, légères et non chroniques, sont produites, en effet, par l'état physique du sol, qui s'imbibe d'une trop considérable quantité d'eau. C'est pourquoi ces chloroses disparaissent souvent en été. Il est bien établi d'ailleurs que « les sols calcaires, du moins ceux où la chlorose existe, supportent des variations d'humidité extrêmement rapides et intenses, vraiment exceptionnelles » (Cazeaux-Cazalet, 1888). «La chlorose, a dit Emile Petit en 1888, est à la fois la conséquence et l'indice d'un défaut de nutrition ; celui-ci résulte généralement, soit des effets de la dessiccation des sols, soit le plus souvent de leur mouillage!.. Dans le second cas (chlorose par humidité), la cause immédiate de ces effets de l'eau réside surtout dans l'asphyxie qu'entraîne l'expulsion, par l'eau, de l'air du sol. Les propriétés capillaires (variées) des sols, les besoins d'humidité et d'aération des cépages (variés aussi) sont l'origine de ces effets ». Le Dr Despetis (1886), Marguerite-Delacharlonny (1890, *chlorose par dilution*), Cazeaux-Cazalet (1885), Viala et Ravaz (1891), Bisset et Bringuier (1887), Metgé (1895), ont signalé aussi l'action aggravante de l'humidité.

Dans les calcaires de la Charente et du Sud-Ouest, il y a quelques années, les pluies ont été « si abondantes, dit Ravaz, le sol si mouillé, que toutes les Vignes ont jauni, même les plus résistantes, y compris les Vignes européennes. Mais, tan-

dis que les dernières reverdissent toujours, les secondes se rabougrissent, se cottisent pour la plupart, sauf quelques-unes....., au point de succomber ».

Selon Ravaz et Viala (1891-1892), l'humidité agit seulement en favorisant la dissolution du carbonate de chaux et en augmentant ainsi la quantité de calcaire amenée au contact des racines.

« Le calcimètre, disent à ce sujet Gasser et Maire, n'indique que le calcaire *permanent* ; mais, sous certaines influences climatériques, cette dose de calcaire peut être considérablement augmentée quand le sol contient des pierrailles calcaires. Les eaux pluviales, toujours chargées d'anhydride carbonique, lavent ces pierrailles et se chargent, à leur contact, de carbonate calcique, qui imprègne le sol et est absorbé par les racines de la Vigne. Leur action dure d'autant plus que les racines plongent plus profondément, que les pierrailles sont plus menues et plus abondantes, et que leur surface est déjà préalablement décomposée en calcaire plus ou moins pulvérulent par les agents atmosphériques... Il faut donc prendre les échantillons de terre à analyser à une assez grande profondeur, et, malgré les résultats de l'analyse calcimétrique, se défier des sols contenant des pierrailles calcaires. Dans ce cas, la végétation spontanée pourra souvent donner d'excellentes indications. Partout où cette végétation est calcaricole, il pourra être dangereux de planter des vignes calcarifuges, car, lors même qu'elles supporteraient la dose normale de calcaire contenue dans le sol, elles seraient à la merci des variations climatériques (pluies, humidité) qui peuvent augmenter cette dose dans des proportions nuisibles ».

Viviand-Morel (1896), en décrivant ses *chloroses endémiques*, a dit que l'excès d'humidité agit sur certaines espèces en voie de repos, en acidifiant les matières humiques qui deviennent alors toxiques, altèrent les racines et paralysent leurs fonctions ; en abaissant la température du sous-sol ; en obturant partiellement les parties désagrégées du sol par lesquelles l'air afflue aux racines. Il a admis même que ce processus chlorotique est un des plus fréquents. Signalons enfin et incidemment l'action

de l'humidité excessive sur les tubercules, les fruits, et même sur les feuilles de certaines plantes grasses, qui sont atteintes, à la suite d'un accroissement rapide et d'une absorption trop considérable d'eau, d'une sorte d'*anasarque* (déjà signalé par Plenck, 1798).

20. Sécheresse, Siccité

Comme l'humidité, l'état de siccité du sol ne peut être, seul, une cause de chlorose, car on ne voit pas de chlorose partout où il y a de la sécheresse.

Au surplus, la sécheresse fane les plantes en les déshydratant, mais ne les décolore pas. « Toutes les expériences tentées pour établir l'influence de la sécheresse ont donné, dit Cazeaux-Cazalet, des résultats négatifs ».

« Dans les sols les plus calcaires, dit Ravaz (1898), la chlorose ne se manifeste sur aucune variété si la sécheresse est intense et si le sol est sec ; c'est ce qui s'est produit depuis trois ans dans la Charente et le Sud-Ouest ; le printemps et l'été ayant été secs, il n'y a pas eu ou presque pas eu de chlorose ».

P. Viala est aussi d'avis que la sécheresse ne fait pas jaunir les Vignes. Il a rappelé qu'en 1890 et 1891, les Vignes des Charentes, de la Bourgogne, des bords du Rhône et de la Méditerranée, etc., ont souffert de la sécheresse au point de perdre leurs feuilles, mais sans chlorose. Si, dans certains cas, la sécheresse du sol paraît aggraver la chlorose, c'est que les racines sont obligées de vivre plus profondément et dans une couche plus calcaire ; mais seule, conclut Viala, la sécheresse n'est pas une cause de chlorose. Elle peut même, et plus souvent, la diminuer. C'est le cas des sécheresses estivales moyennes qui atténuent les effets de l'humidité printanière. Les alternatives de sécheresse et d'humidité ne peuvent, non plus, être sérieusement invoquées.

Cependant Willermoz (1857), Cazeaux-Cazalet et E. Petit (1888), Marguerite-Delacharlonny (1890, *chlorose par concentration*), J. Crochetelle (1895), admettent l'influence aggravante de l'état de siccité du sol. « Une plantation n'ayant pas

encore jauni, dit Cazeaux-Cazalet, il se produit dans le courant de l'été un desséchement de terrain calcaire qui fait lignifier toutes les racines au delà de toute mesure.... Au printemps suivant, quelle que soit la température qu'il fasse, les pieds qui ont subi fortement cette modification auront la chlorose ».

Les effets de la dessiccation du sol sur les liquides nourriciers et sur les organes d'absorption suffisent à expliquer, selon E. Petit, la chlorose par siccité.

21. Chaleur du sol

G. Foex, Millardet, etc., ont observé que la chlorose est plus grave dans les terrains difficilement échauffables. Cependant, ajoute Viala, les *groies* et les *grèves*, ordinairement brunes, noires ou d'un rouge foncé, légères et très perméables, et s'échauffant facilement, sont très chlorosantes. La chaleur du sol est un facteur qui est toujours lié et combiné à d'autres conditions physiques et qui n'existe jamais seul.

22. Froideur du sol

Les terrains blancs, réfléchissant la chaleur sans l'absorber, sont généralement très chlorosants. Aug. Boyé (1887) a attribué la chlorose et l'asthénie au défaut de chaleur des sols blancs et argileux.

Néanmoins, Viala a remarqué que beaucoup de terres blanches, compactes et froides ne portent jamais de Vignes jaunes. La froideur du sol ne peut donc provoquer la chlorose, mais elle peut l'aggraver par suite de l'humidité intense et prolongée au printemps.

23. Configuration du sol

Beaucoup de praticiens attribuent une très grande importance à la pente et à l'exposition du sol. C'est une exagération, bien que ces facteurs aient une action appréciable. Les sols très inclinés sont favorables à l'aggravation de la chlorose, parce qu'ils se dessèchent trop promptement. Les sols très peu inclinés sont excellents, parce que, tout en laissant l'excès d'eau s'écouler, ils ne se dessèchent pas trop vite.

Une exposition chaude, à l'est et au midi, est toujours plus favorable aux plantes que l'exposition au nord et au nord-ouest. Néanmoins, l'exposition est surtout importante à considérer dans ses rapports avec l'éclairement et les abaissements nocturnes de température. C'est un facteur complexe et d'ailleurs moins important que la plupart des précédents.

3. PRINCIPAUX ÉLÉMENTS PHYSIQUES DU SOL PRIS SÉPARÉMENT

24. Etat physique du calcaire

L'état physique du calcaire exerce une action variable sur l'intensité de la chlorose, qui n'est donc pas liée seulement à la proportion absolue de calcaire.

S'il faut toujours commencer par déterminer cette proportion absolue, puisque le calcaire est le principal générateur de la chlorose, il convient ensuite de rechercher : 1° l'association et la réaction du calcaire avec les autres éléments ; 2° la *ténuité* du calcaire, déduite des tamisages progressifs de la terre ; 3° sa *vitesse d'attaque spécifique*.

Selon que le calcaire est compact, tendre, pierreux, marneux, etc., on a des sols différemment chlorosants par la même teneur absolue en carbonate de chaux.

A. Bernard a particulièrement insisté sur l'influence de la *ténuité* du calcaire et a montré que l'action du calcaire devient toujours prépondérante dans un sol, s'il y est à l'état d'extrême division, présentant une grande surface de dissolution et de contact avec les racines. La pulvérisation et l'assimilabilité du calcaire marchent de pair. « Les végétaux calcifuges souffrent d'autant plus dans un sol calcaire, dit G. Coutagne (1892), que la surface absorbante de leurs racines est en contact, en un plus grand nombre de points, avec les particules calcaires... On parlait de l'*assimilabilité* du calcaire, du calcaire dissous dans l'eau du sol, de la précipitation du calcaire dissous pendant l'été, tous phénomènes sans relation réelle avec le dépérissement des végétaux calcifuges ».

Houdaille et Semichon (1894) ont étudié avec grand soin les

variations de vitesse d'attaque ou vitesse de réaction des différents calcaires. Les calcaires friables des formations tertiaires et crétacées sont attaqués plus vite et engendrent une chlorose plus intense que les calcaires durs et compacts du Jurassique et des terrains primaires. Chaque calcaire a sa *vitesse d'attaque spécifique*. Contrairement à l'opinion de G. Coutagne, nous concluons donc que la proportion du calcaire dissous et absorbé est variable selon sa proportion absolue, selon son état de division ou sa ténuité, selon sa vitesse d'attaque spécifique, et aussi selon l'humidité et la proportion d'acide carbonique (jamais constante et très variable) de l'eau et du sol.

25. Argile, Glaise, Marne

L'argile (argile agricole) a sur la chaux des effets variables, parfois opposés, selon sa proportion et selon son association.

L'association de l'argile et du calcaire est importante à considérer. En effet, si le calcaire entoure les granules siliceux de l'argile, la surface de contact du calcaire avec les racines est plus grande et l'argile n'a aucune influence favorable. Si, au contraire, l'argile est en proportion suffisante pour enrober les grains de calcaire, elle aura une action atténuante. Le rôle modérateur de l'argile est connu et signalé depuis longtemps.

La culture des plants américains les plus calcifuges, comme *Rupestris*, *Riparia*, etc., serait, paraît-il, possible dans des sols de 30 à 50 o/o de calcaire, lorsque ces sols contiennent en même temps une forte proportion d'argile. Au-dessus de 50 o/o de calcaire, l'argile ne peut plus être en quantité suffisante.

A dose considérable, l'argile «paralyse et annule presque l'action du calcaire» (Prosper Gervais, 1898).

Cazeaux-Cazalet (1890) a fait remarquer surtout l'influence de la proportion d'argile par rapport à celle du calcaire et a cherché à démontrer que la chlorose ne se produit pas dans un sol calcaire si la quantité d'argile est au moins triple de celle du carbonate de chaux. D'après cet auteur, l'argile joue un triple rôle :

«En forte proportion, elle enveloppe les particules du calcaire et elle les cimente énergiquement ; le volume d'eau considérable absorbé par un pareil terrain est retenu en grande quan-

tité par l'argile, et le calcaire, ayant peu de surface libre, est peu susceptible de devenir soluble. Lorsque l'argile est en plus faible proportion que le calcaire, elle facilite les agglomérations de cet élément ; elle ne recouvre pas le calcaire, mais comme elle est en assez grande quantité pour que le délitement se produise, il y a peu d'aération, peu d'évaporation. Les terrains ainsi constitués restent assez frais, parce que les agglomérations de calcaire, ne formant pas un bloc compact, perdent peu d'eau après en avoir absorbé beaucoup. Dans les terrains à composition intermédiaire, ayant au moins autant d'argile que de calcaire, sans que l'argile soit cependant en proportion trois fois plus grande, le délitement se produit toujours par le jeu de l'air et de l'eau, celle-ci étant absorbée en très grande quantité et disparaissant avec rapidité. Les surfaces de contact de l'air et du calcaire sont ainsi très multipliées, et ce dernier devient très soluble à cause d'un excès d'acide carbonique résultant de la grande aération. Les sols calcaires très secs, naturellement très divisés, rentrent dans cette dernière catégorie, même lorsqu'ils contiennent très peu d'argile». B. Chauzit (1889) considère que l'argile neutralise le calcaire et atténue ainsi la chlorose.

R. Gavoty (1899) admet aussi qu'une certaine proportion d'argile dans le sol atténue, dans des limites assez étendues, l'action nocive du CO^3Ca sur les Vignes américaines.

Cependant, dans bien des cas, l'argile aggrave la chlorose au lieu de l'atténuer (Petiot, 1891, etc.).

Rougier (1886) a fait remarquer, en effet, que, dans l'Ardèche, la chlorose apparaît dans des terrains gréseux non calcaires, mais *argileux* et humides, tandis que la Vigne prospère, au contraire, dans les terrains calcaires de l'oxfordien et du crétacé.

Les terrains argileux, marneux et glaiseux sont, en effet, souvent plus nuisibles qu'utiles aux plantes chlorosées, parce qu'ils deviennent compacts en se desséchant et parce qu'ils font avec l'eau une sorte de pâte difficilement pénétrée par les racines.

C'est ainsi que Frank a expliqué la production de certaines chloroses par l'influence d'une couche superficielle compacte et imperméable qui fait, dit-il, que le besoin d'acide carboni-

que de la racine ne peut être satisfait. Selon nous, c'est non seulement le besoin d'acide carbonique, mais le besoin d'aération complète qui est entravé par le sol compact et imperméable à l'air.

Lagatu et Semichon (1893) ont signalé le développement spécial de la chlorose sur les affleurements des *marnes* pliocènes à rognons de l'Hérault et ont fait ressortir, à ce sujet, l'influence des conditions hydrologiques.

Viviand-Morel (1896) a observé que le Platane se chlorose au contact des marnes, mais non le Marronnier, le Sycomore ou l'Ormeau.

Quant aux sous-sols argileux, marneux ou glaiseux, ils sont toujours nuisibles, parce que les racines, après avoir traversé la couche superficielle du terrain, changent brusquement de milieu, y pénètrent difficilement et n'y trouvent plus les conditions d'une bonne végétation.

Au surplus, nos expériences personnelles ont bien démontré l'influence nocive et chlorosante de la trop grande proportion d'argile. Dans notre terre argilo-calcaire du Mont Ceindre, en effet, contenant seulement 15 o/o de calcaire, mais par contre une forte dose d'argile, toutes nos plantes sont devenues intensément chlorotiques.

26. Sable

Ainsi que l'a fait remarquer Cazeaux-Cazalet (1888), le sable, mélangé au calcaire en proportion moyenne, le divise beaucoup et lui donne son maximum de surface. Les terrains sablo-calcaires sont très chlorosants ; ils se mouillent beaucoup, se dessèchent et s'aèrent trop facilement. Par contre, des quantités très faibles de sable ne divisent pas assez le calcaire pour le rendre nuisible.

Toutefois, plus il y a de sable (siliceux) dans un sol, moins il y a de calcaire, et conséquemment, les sols très sablonneux, n'étant pas calcaires, ne sont pas chlorosants.

27. Humus

L'humus, qui, on le sait, depuis Liebig, est presque inutile à la vigueur des plantes et ne vaut que par son action sur les propriétés physiques du sol, a une action mécanique analogue à celle du sable. En forte proportion, il aggrave la chlorose. D'autre part, l'abondance des matières organiques dans le sol peut favoriser, avec la production de l'acide carbonique, la dissolution du calcaire (V. plus haut, excès d'azote et nitrates).

2° CAUSES EXTRINSÈQUES MÉTÉOROLOGIQUES

Sous le nom de causes météorologiques, nous réunissons toutes les conditions se rapportant aux variations de climat (température, pression, agitation et composition de l'atmosphère) et de lumière.

α. CLIMAT

28. Climat en général

Un climat continental, c'est-à-dire chaud, sec et régulier, est favorable à l'atténuation de la chlorose.

Au contraire, un climat maritime, c'est-à-dire frais, humide et irrégulier, aggrave la chlorose.

Sous le climat chaud et sec de la Basse-Provence, les plantes et notamment la Vigne (R. Gavoty) ne se chlorosent pas aussi facilement que sous les climats plus froids et plus humides des Charentes et de la Champagne.

29. Abaissement de la température

Marguerite-Delacharlonny a admis des chloroses engendrées par le froid (*chlorose par froideur*). On sait en effet, depuis Arthur Gris (1857), que la chlorophylle ne se forme pas au-dessous de + 10°.

Frank et d'autres avant lui ont remarqué qu'après les périodes de jours froids, on trouve dans les feuilles des granules

jaunâtres, mais sans que la répartition de ces leucites altérés soit modifiée.

Un abaissement anormal de la température, en pleine végétation, peut produire des excès de chlorose passagère. C'est ce qui arrive après certaines gelées tardives. Les espèces thermophiles, comme les plantes de serre chaude que l'on cultive en serre froide ou orangerie, sont particulièrement exposées à cette chlorose par cette froideur.

D'après Viviand-Morel (1896), cette variété de chlorose peut quelquefois persister et devenir chronique chez certaines espèces ; mais chez la plupart, elle n'est que momentanée.

Les Vignes américaines sont moins sensibles au froid que les plants français. Ainsi, en 1891, où on a observé — 30° au nord de Lyon, les Vignes indigènes ont gelé complètement, tandis que les américaines ont parfaitement résisté. Cette résistance montre bien que si les abaissements brusques ou prolongés de température peuvent chloroser les Vignes françaises, ainsi que l'avaient déjà remarqué les vignerons avant la reconstitution, ils sont ordinairement incapables de chloroser les Vignes américaines.

Cependant, F. Sahut (1886) est d'avis que les Vignes américaines, dans le Midi, sont sensibles aux froids succédant à une série de beaux jours chauds et humides. Il y a alors, dit-il, «un arrêt momentané dans la nutrition de la plante, qui amène peu de temps après un léger jaunissement des feuilles». Mais, ajoute-t-il, si la chlorose n'a pas d'autre cause, le jaunissement est passager et disparaît.

30. Élévation de la température

Les plantes thermophobes craignent la trop grande élévation de température. Les chaleurs de l'été, en diminuant l'eau du sol et en exagérant l'émission aqueuse des feuilless, peuvent aggraver la chlorose. Pourtant, Viala et Ravaz (1892) ont pensé que la chaleur atténue la chlorose en déterminant, avec l'évaporation de l'eau, la précipitation partielle du calcaire dissous. Arthur Gris (1857) a démontré, d'autre part, que la chlorophylle ne se forme plus au-dessus de + 36°. Il y aurait donc des chloroses par chaleur (Marguerite-Delacharlonny).

Les viticulteurs ont remarqué, en effet, que la chlorose s'aggrave en 24 ou 48 heures quand la chaleur devient trop forte. C'est évidemment par suite d'un excès de transpiration et de chlorovaporisation, et aussi d'une exagération ou surexcitation de la végétation, ainsi que Dezeimeris l'a constaté en marquant chaque jour l'allongement des flages de plusieurs pieds de Vigne (observation citée par Cazeaux-Cazalet).

Quoi qu'il en soit, une chaleur moyenne ne peut avoir que d'excellents effets, et la température, au moins dans de certaines limites, favorise à la fois la formation de la chlorophylle et le développement et la différenciation du parenchyme des feuilles. Ces modifications, qui accentuent la teinte verte de ces dernières, contribuent en même temps à accroître leur énergie assimilatrice (recherches de G. Bonnier et de Ed. Griffon).

L'alternance des températures extrêmes, tout en donnant aux plantes, comme l'a montré Bonnier, les caractères alpins, en augmentant l'épaisseur du tissu palissadique et en rendant la fonction chlorophyllienne plus active, ne paraît pas engendrer de chlorose, mais tout au plus, dans quelques cas, une légère diminution de l'intensité de la teinte verte ; la réduction de la chlorophylle dans chaque cellule est plus que compensée, ainsi que l'a remarqué Ed. Griffon, par le développement et la différenciation du mésophylle.

L'action de la température sur les phénomènes d'émission aqueuse par les feuilles est aussi liée, comme nous allons le voir, à l'état hygrométrique de l'air.

31. Pression atmosphérique

Les changements de pression ne paraissent pas avoir une action bien marquée sur la marche de la chlorose.

En général, cependant, les plantes des plaines, où la pression est plus forte, semblent se chloroser plus facilement que celles des montagnes. Mais ce caractère n'a rien d'important ni de précis, et l'étude de ce facteur demande à être complétée.

32. Agitation atmosphérique

Les vents violents succédant aux périodes de calme peuvent, selon nous, accélérer la chlorose, lui donner un *coup de fouet*, en exagérant brusquement la transpiration et la chlorovaporisation.

Nous croyons que l'on n'a pas, jusqu'ici, accordé assez d'importance au facteur éolien.

33. Composition de l'atmosphère

Les variations dans la composition de l'atmosphère ne sont ordinairement appréciables que dans des milieux confinés (serres, appartements, etc.).

On sait que l'air vicié, contenant notamment une forte proportion d'acide carbonique, occasionne le jaunissement de certaines plantes.

Bœhm a fait jaunir des plantes dans une atmosphère chargée d'acide carbonique : 2 o/o de CO^2 influent déjà sur la formation de la chlorophylle et la ralentissent.

Les variations de l'état hygrométrique et peut-être aussi électrique de l'air ont une influence encore mal connue. A. Leclerc a conclu de ses expériences que le jaunissement des Céréales est intimement lié au phénomène de la transpiration et, par conséquent, réside à la fois dans la température et dans l'état hygrométrique de l'air. Selon lui, le jaunissement est dû à une absence de transpiration ; le folletage de la Vigne, du Tilleul, etc., est dû à un excès d'évaporation.

β. LUMIÈRE

34. Excès de lumière

On sait depuis longtemps que les grains de chlorophylle fuient la lumière trop intense et se disposent le long des parois cellulaires, parallèlement aux rayons lumineux, comme pour s'abriter les uns derrière les autres.

Les plantes trop éclairées deviennent pâles et flavescentes. Les sols si blancs de la Dordogne, du Blayais, etc., sont très

chlorosants, non seulement et surtout par leur calcaire, mais aussi par l'intensité de la lumière réfléchie à leur surface.

Les *blanquiers* du Var, d'une blancheur éblouissante, sont très chlorosants ; et si quelques-uns le sont peu, c'est parce que, d'autre part, ils contiennent plus de gypse que de calcaire. Au surplus, beaucoup de plantes, cultivées ou spontanées, sont d'un vert foncé lorsqu'elles sont abritées un peu du soleil, et deviennent pâles et jaunes lorsqu'elles sont soumises aux rayons solaires directs pendant une longue période de beau temps.

35. Insuffisance de lumière

L'absence totale de lumière engendre l'*étiolement*, qui doit être séparé de la chlorose vraie. Les anciens auteurs (Plenck, 1798) donnaient cependant le nom de chlorose à l'état morbide résultant de l'absence complète de lumière.

D'Arbois de Jubainville et J. Vesque (1878) ont aussi appelé chlorose l'état produit par l'insuffisance d'éclairage, réservant le nom de jaunisse ou ictère aux troubles de l'absorption des matières minérales.

G. Foex (1888) et Marguerite-Delacharlonny (1890, *chlorose par obscurité*) englobent l'étiolement dans la chlorose. Sans nier que l'étiolement soit une sorte d'état chlorotique spécial et exagéré, nous avons réservé et réservons le nom de chlorose ou flavescence proprement dite au jaunissement dérivant directement de troubles dans l'absorption et l'assimilation des matières minérales. La chlorose ainsi entendue est aggravée par l'insuffisance de lumière et se rapproche un peu, dans ces conditions, de l'étiolement.

Les printemps nuageux et brumeux (degré actinométrique faible) donnent aux plantes des feuilles plus pâles que les printemps ensoleillés.

Dans les sombres profondeurs des forêts, beaucoup de plantes sont dans un état tenant à la fois de la chlorose et de l'étiolement. Il y a plus : certains sols noirs, comme on en voit dans les régions des Charentes, du Saumurois, du Poitou, etc., font jaunir les Vignes non seulement par leur calcaire, mais aussi, très probablement, par le défaut de réflexion lumineuse sur les organes aériens.

3e CAUSES EXTRINSÈQUES AGROTECHNIQUES

36. Culture générale

Les mauvaises conditions d'établissement des cultures: mauvaise préparation du sol, semailles prématurées ou tardives, plantations et repiquages en temps inopportun, etc., peuvent aggraver la chlorose engendrée par le sol.

Viala et Ravaz ont signalé pour la Vigne l'influence aggravante des labours profonds, du mode de plantation, de l'état des plants selon leur provenance, etc.

La mauvaise taille des arbres, le manque de soins, les engrais intempestifs, etc., peuvent aussi aggraver la chlorose de la Vigne et de certaines plantes frutescentes et arborescentes cultivées.

Comme exemples de l'influence nocive de certains engrais ou matières soi-disant améliorantes, nous citerons les chloroses produites brusquement après épandage irrégulier de certaines *boues de route* dans les Vignes. Nous en avons vu un exemple à Plouzey, près de Besançon, et Gasser et Maire citent le fait suivant: En 1898, la chlorose a envahi tout à coup une Vigne (greffes sur *Riparia* et *Solonis*), située au sud-ouest de Mantoche (Haute-Saône), sur le chemin d'Apremont, dans un sol ne contenant normalement que 0,8 o/o de calcaire. «Ce fait, qui nous avait paru d'abord extraordinaire, s'expliqua facilement après qu'une petite enquête nous eut révélé ceci : dans le but d'améliorer le sol, on avait répandu inégalement dans la Vigne des boues de route. Or, on sait que nos routes sont empierrées avec des calcaires portlandiens, virguliens, bathoniens, etc.; les boues qui en proviennent ne sont donc que le produit de la trituration de ces derniers. Aussi, aux points où la chlorose a été particulièrement accentuée, le sol contenait en *automne*, c'est-à-dire longtemps après l'apport des boues, 7,6 o/o de calcaire ! »

37. Greffage

Le greffage, en amenant une diminution relative de la vigueur des plantes, en provoque souvent et en aggrave toujours le jaunissement.

Il est donc avéré que la greffe favorise le développement de la chlorose ; cette action aggravante a été remarquée et signalée par la plupart des viticulteurs et arboriculteurs (Sahut, Ravaz, etc.). Ainsi, à 32 o/o, les *Riparia* et *Jacquez francs* de pied ne se chlorosent généralement pas, tandis qu'après *greffage*, ces mêmes cépages, dans le même terrain, meurent de la chlorose entre la 3e et la 5e année.

Lorsqu'on greffe un cépage américain non résistant à la chlorose, « ses racines descendent plus bas, parce qu'elles croissent avec activité plus tardivement, le feuillage français étant toujours plus tardif que le feuillage américain. Les racines allant plus bas, descendent généralement en terre plus chlorotique. Le greffage n'a pas une influence aussi défavorable lorsqu'il est fait sur des pieds âgés et déjà fortement enracinés » (Cazeaux-Cazalet, 1892).

« Les greffes-boutures, dit Ravaz (1898, *Progrès agricole*) à ce sujet, se comportent mieux que les Vignes greffées sur place. C'est qu'en général ces dernières sont greffées à la deuxième année de plantation, quand la chlorose est le plus intense ; les efforts du greffage et de l'opération de la greffe s'ajoutent ici à ceux de la non-adaptation. La réussite de la greffe sur place influe également. Des greffes bien réussies, qui se sont soudées de bonne heure, restent plus fortes et sont mieux constituées que celles dont la reprise est défectueuse et la soudure médiocre. Un plant mal soudé jaunit évidemment plus qu'un plant bien soudé, les greffes qui poussent tardivement et faiblement jaunissent aussi beaucoup ; et celles-ci, il est bien difficile qu'elles se relèvent : elles peuvent jaunir et se rabougrir où, bien réussies, elles auraient prospéré ». La nature du greffon, ajoute Ravaz, influe également ; les Vignes américaines que l'on compare doivent évidemment porter le même greffon. F. Sahut, dès 1886, avait déjà développé des considérations analogues (*La Jaunisse ou chlorose des Vignes*, p. 6 et 11).

4° CAUSES EXTRINSÈQUES ANIMÉES

38. Action des Animaux

L'intrusion, normale pour les parasites, accidentelle pour les autres, des Insectes, Vers, Arachnides, etc., dans les tissus végétaux peut donner lieu à des altérations simulant la chlorose. En outre, par les dégâts et l'épuisement que ces animaux causent aux plantes, soit en se nourrissant de leur substance, soit en y creusant simplement des galeries ou des cavités, ils peuvent aggraver la chlorose et même quelquefois la provoquer momentanément, soit dans toute la plante, soit seulement sur une ou plusieurs branches ou rameaux.

On a souvent signalé, en effet, l'aggravation flavescente produite par les animaux (adultes ou larves) qui rongent les racines, tels que : Souris (Willermoz, 1857, etc.), Taupes, Vers blancs et autres larves de Coléoptères (Viviand-Morel, 1896, etc.), Taupes-Grillons (Plenck, 1798), Phylloxera et Acariens divers (Viala, Ravaz, etc.).

En effet, dit Ravaz à ce sujet, « toutes les causes qui affaiblissent la Vigne la rendent plus sensible au carbonate de chaux. Le phylloxera influe aussi sur l'apparition de la chlorose, qu'il provoque ou qu'il aggrave. Dès que le sol est un peu calcaire, les Vignes européennes malades du phylloxera se chlorosent plus ou moins gravement,il en est de même des Vignes américaines. Des Vignes très résistantes à la chlorose, comme les Vignes de pays, jaunissent quand elles sont atteintes par le phylloxera, et d'autant plus qu'elles sont plus attaquées ; et comme le phylloxera procède par taches, on conçoit que si on n'examine pas les racines des Vignes chlorosées, on soit exposé à mettre sur le compte d'une insuffisante résistance à la chlorose ce qui est dû au phylloxera».

Les Insectes phyllicoles, comme le Gribouri (G. Foex, etc.), les Pyrales et autres Chenilles, le Rhynchite cigareur, etc., peuvent aussi aggraver la chlorose. Toutefois, Viviand-Morel a fait observer que les ravages de ces animaux ne produisent ni n'aggravent pas toujours la chlorose ; nous croyons même

que cette action aggravante est extrêmement rare et légère, sauf en quelques cas exceptionnels. La corrosion et les plaies produites par les Insectes amènent plutôt l'apparition de taches rouges, brunes, etc., comme par exemple la maladie des feuilles d'*Amaryllis* causée par le *Thrips hemorrhoidalis* (Wakker, 1889).

39. Action des Végétaux

Le voisinage de certains végétaux occasionne parfois la chlorose partielle et légère de certaines plantes. Tel est le cas de plusieurs espèces herbacées qui, vivant sous les arbres dont la chute des feuilles et des aiguilles (Conifères) forme à la longue sur le sol une croûte dure, sont ainsi gênées dans leur développement normal.

L'action des plantes parasites sur leurs hôtes est beaucoup plus importante. Les Chanvres, Luzernes, etc., sont souvent chlorosés partiellement par les Cuscutes ; les Orobanches, Mélampyres, etc., peuvent aussi épuiser et faire jaunir leurs hôtes.

Les parasites cryptogames ont une influence indéniable. Ainsi, les Roses trémières et autres Malvacées, les Céréales, etc., sont presque constamment chlorosées par les rouilles (Puccinies).

Des taches blanches ou jaunes localisées sont souvent produites par des Champignons parasites (*Septoria*, etc.) ; ce sont des pseudo-chloroses.

Le Mildew et autres maladies cryptogamiques aggravent presque toujours (Foex, Ravaz, etc.) la chlorose de la Vigne, sans pouvoir l'engendrer toutefois.

« Dans les vignobles, malheureusement trop nombreux, où il a exercé ses ravages, le Mildew, en entravant le fonctionnement des feuilles pendant l'été et l'automne de 1883, a aidé, lui aussi, pour sa part, à amener ce déplorable résultat (la chlorose des *Riparia*) » (F. Sahut, *la Jaunisse ou chlorose des Vignes*, 1886, p. 11).

Rappelons enfin le rôle possible de certains myxomycètes, tels que le *Pseudocommis* de Debray, etc., dans le jaunissement

des feuilles de nombreux végétaux (Pomme de terre, notamment).

Fuckel a cru trouver dans un champignon microscopique, le *Spicularia icterus*, la cause de la chlorose des Vignes de l'Allemagne et des plaines du Rhin. Mais, ainsi qu'on l'a reconnu (V. Frank, *D. Krankh. d. Pfl.*, t. III), ce champignon n'est qu'un saprophyte qui végète sur les feuilles déjà mortifiées de la Vigne et qui n'a aucun rapport de cause à effet avec la chlorose.

40. Action des Microorganismes

Les microorganismes ont une action beaucoup plus intense qu'on ne l'a cru jusqu'à ce jour. Nous avons suffisamment indiqué antérieurement les horizons nouveaux offerts par leur étude. Nous sommes porté à attribuer aux microorganismes des feuilles une influence secondaire, mais incessante et très appréciable, quoique à peu près inconnue encore. C'est ce qui nous fait admettre une catégorie spéciale de *chloroses infectieuses*.

On sait que la chlorose des Pêchers dans l'Amérique du Nord est apparue d'abord sur les côtes de l'Océan, puis s'est étendue épidémiquement sur le reste du territoire américain. A l'heure actuelle, la plupart des Pêchers du nord de l'Amérique meurent vers l'âge de 6 à 10 ans, après avoir vécu avec toutes les apparences de la chlorose.

Ne peut-on pas soupçonner ici une infection répandue de proche en proche autour d'un foyer primitif, et produite par des microorganismes de la nature de ceux que nous avons observés et étudiés ?

D'ailleurs, Prillieux, Delacroix, Wakker, Burrill, Kellermann, etc., ont décrit des chloroses bactériennes dans la Jacinthe, la Betterave, le Sorgho, etc.

Plusieurs savants viticulteurs ont décrit également des altérations chlorotiques de la Vigne produites par des Bactéries. Mais ces recherches ne sont point encore très avancées ; au surplus, nous avons eu, à plusieurs reprises, l'occasion d'aborder ces questions. Nous n'y reviendrons donc pas ; mais devant l'invasion croissante des microbes, nous pousserons, avec

Coste-Floret, Emile Laurent, etc., le cri d'alarme : Veillons aux microorganismes !

«Une étude plus complète des nombreux microorganismes du sol, dit Coste-Floret (1898), s'impose aux directeurs des Stations agronomiques ».

L'agriculture, s'écriait récemment E. Laurent, est menacée d'un danger redoutable ; c'est l'extension continue des parasites, par suite de l'évolution des saprophytes : «La variabilité des fonctions chez les organismes inférieurs et leur adaptation graduelle à la vie parasitaire ne sont aujourd'hui plus contestables. La culture intensive avec ses conséquences fatales, répétition des mêmes plantes sur le même sol, l'emploi des engrais abondants..... constituent une cause permanente d'infection» et il faut songer à préserver, par tous les moyens, les champs de l'invasion meurtrière des organismes inférieurs dont la destruction complète est malheureusement impossible.

II

CAUSES INTRINSÈQUES

41. Hérédité

Les prédispositions héréditaires, variables pour chaque espèce ou race, sont utiles à connaître, car elles influent sur la production et l'intensité de la chlorose.

Ce sont ces prédispositions héréditaires qui règlent en partie l'acclimatation et l'adaptaton d'une plante transportée dans de nouvelles régions. Ainsi, les Vignes américaines ont la propriété *héréditaire* de mieux résister au froid et de prospérer mieux (en sols non calcaires, bien entendu) dans les saisons mauvaises que les Vignes françaises. Par contre, en sols calcaires, les cépages américains sont très sensibles à toutes les conditions défavorables qui les laissent presque indifférentes en sols siliceux.

Les cépages américains ont reçu ces propriétés de leur pays d'origine, dont les conditions climatologiques sont plus inégales qu'en France. Toutefois, certaines dispositions, dites d'a-

daptation ou de résistance, pourraient bien être plutôt acquises et spécifiques. D'autre part, les mots *hérédité*, *adaptation*, sont vagues et de nouvelles recherches sont encore à désirer pour préciser les chapitres dont ils sont les titres.

Au surplus, dit Coutagne, il n'y a plus lieu de parler du «mystère de l'adaptation» ; les plantes, Vignes ou autres, qui ne s'adaptent pas à tous les sols, sont, tout simplement, les unes calcifuges, les autres calcicoles. Il semble donc qu'on puisse réserver le terme *adaptation* à certaines propriétés acquises ; quant à l'*hérédité*, c'est un phénomène complexe encore mystérieux dans son essence, et mal connu dans ses manifestations. La calcifugie ou la calciphilie nous apparaissent aussi comme des phénomènes d'hérédité par suite de l'habitat indéfini et peut-être originel de certaines plantes dans tel ou tel pays siliceux ou calcaire.

42. Tempérament, Constitution, Dispositions individuelles Manque d'affinité

Plusieurs auteurs ont décrit des *chloroses physiologiques* ou *constitutionnelles*, dépendant plus ou moins directement de certains caractères individuels d'organisation, de tempérament, etc. D'après ces auteurs, le mode d'organisation de la feuille, le développement du système conducteur de la sève, la direction, la dimension et la forme des racines, leur insuffisance ou leur abondance selon les espèces, les races ou les individus, etc., pourraient avoir une action tantôt aggravante, tantôt atténuante, dans la chlorose.

En 1889-92, Cazeaux-Cazalet, entre autres, a précisé pour la Vigne les caractères des plants qui résistent mieux que les autres à l'influence chlorosante des sols calcaires : « Ce sont les cépages dont les racines ont le péricycle très développé et qui ont généralement une végétation tardive ; étant moins exigeants, ils vivent sur leurs réserves pendant la période difficile du printemps où il y a de brusques variations d'humidité ; se lignifiant lentement, ils n'exigent de radicelles que lorsque les conditions de tous les sols, celles des sols calcaires eux-mêmes, sont favorables à la croissance et à la multiplication des racines.

Les cépages à chevelu et à racines faibles, au contraire, sont gênés dès le printemps dans leur végétation par l'épuisement rapide des réserves, l'arrêt de croissance des racines et de leur ramification, et enfin, par la lignification qui rend cet arrêt si grave et si complet ». L'observation microscopique montre l'exactitude de ces considérations.

Les viticulteurs ont donné des échelles de résistance au calcaire des différentes espèces, variétés ou cépages.

Voici l'échelle de Cazeaux-Cazalet (1889) :

DOSES DE CALCAIRE	CÉPAGES QUI PROSPÈRENT BIEN
Moins de 10 o/o.....	Presque toutes les vignes américaines.
10 à 20 —	Riparia, Taylor, Vialla.
20 à 30 —	Jacquez, Rupestris, Solonis.
30 à 40 —	Champin, Othello.
40 à 50 —	Monticola.
50 à 60 —	Cinerea, Cordifolia.
Plus de 60 —	Vitis Berlandieri.

En 1891, Petiot, Couderc, etc., ont donné aussi la liste des principaux cépages qui conviennent, en Bourgogne, aux diverses teneurs en calcaire.

L'échelle de résistance de Metgé (1895) est la suivante :

Moins de 20 o/o.....	Vialla, Rupestris, Riparia, Taylor.
20 à 30 —	Jacquez, certains Rupestris, Solonis.
Plus de 30 —	Berlandieri.

Tout récemment (1898), L. Ravaz a donné l'échelle suivante de résistance à la chlorose en sol calcaire crayeux :

5 o/o :	Æstivalis, Cordifolia, Cinerea, Candicans, Labrusca.
7,5 —	Vialla, Noah, Clinton, Elvira, Cordifolia-Rupestris, Rupestris-Cinerea, Triumph.
10 —	Rupestris-Æstivalis, Herbemont, Riparia-Cordifolia.
12,5 —	Rupestris (R. Ganzin, R. Martin, etc.), V. Arizonica, Gigantesque.
15 —	Riparias (R. Gloire de Montpellier, R. Tomenteux, R. Grand-Glabre, R. Schribner, etc.), Riparia Cordifolia-Rupestris.
17,5 —	Riparia-Rupestris N^{os} 101-14, 3310, 3309, Rip. Ramond, Taylor.
20 —	Vinifera-Cordifolia, Vinifera-Cinerea, Solonis, Novo-Mexicana.
22,5 —	Jacquez, Othello, Canada.
25 —	Riparia-Monticola, Taylor-Narbonne, Colorado.
27,5 —	Vinifera-Rupestris.
30 —	Vinifera-Riparia.

32,5 o/o V. Monticola.
35 — Rupestris-Berlandieri.
37,5 — Riparia-Berlandieri.
40 — Vinifera-Monticola, Berlandieri N° 2, Berlandieri d'Angeac.
45 — et au delà : V. Vinifera, Chasselas × Berlandieri N° 41, Tisserand, les meilleurs Vinifera-Berlandieri.

« Les terrains calcaires, ajoute Ravaz (*Pr. agricole*, 1898), peuvent être tous reconstitués avec :

Riparia-Rupestris,
Rupestris du Lot,
Taylor-Narbonne,
Riparia-Berlandieri,
Rupestris-Berlandieri,
Berlandieri.

L'important, pour réussir dans les sols calcaires très chlorosants, est de n'employer que de très beaux plants, bien racinés et bien soudés, et de les faire développer vigoureusement, par une fumure abondante, la première année ».

D'après Prosper Gervais, voici les meilleurs porte-greffes des terrains calcaires :

Américains purs	*Américo-américains*	*Franco-américains*
Berlandieri.	Berlandieri × Riparia N^os 157-1 ; 420 ; 33 et 34 EM.	41B Chasselas×Berlandieri.
	Rupestris×Berlandieri N^os 219 et 301	1202 Mourvèdre × Rupestris.
	Monticola × Riparia N^os 554-5.	Aramon×Rupest. Ganzin N° 1.
	Colorado ε.	333 Cabernet×Berlandieri.
	Taylor-Narbonne.	
	Rupestris du Lot.	
	Riparia×Rupestris N^os 3306 ; 3309 et 101-14.	

D'après nos renseignements (1) et observations, les plants qui, dans la région du Centre et de l'Est, sont le plus souvent affectés de chlorose, sont : *Gamay*, *Riparia*, *Solonis*, etc. Ceux qui paraissent le mieux résister et sont le plus souvent indemnes sont : *Pinot blanc*, *Gaillard* ou *Enfariné*, *Noah*, etc., et les hybrides tels que le *Rupestris-Monticola* ou *Rupestris du Lot*.

(1) En particulier, d'après les remarques consciencieuses de M. H. Favet, viticulteur distingué à Poyans (cité par Gasser et Maire).

Les praticiens ont remarqué que le plant blanc résiste mieux que le rouge. D'ailleurs, les meilleurs crus des grands vins blancs mâconnais (Solutré, Fuissé, etc.) sont sur les calcaires jurassiques, tandis que les meilleurs crus des grands vins rouges mâconnais et beaujolais (Brouilly, Beaujeu, etc.) sont sur le granite, la diorite et les porphyres.

Les variations constatées dans les listes des divers expérimentateurs ont fait conclure à quelques auteurs (Dubourg, 1889, etc.) que « la résistance des cépages annoncés comme devant vivre dans les terrains calcaires ne paraît pas démontrée ».

D'autre part, on connaît la discussion sur la résistance comparée des producteurs directs, des hybrides et des plants greffés. Il est certain que chaque cépage greffé ou hybride apporte ses qualités et défectuosités individuelles ; le *manque d'affinité* entre deux plantes greffées engendre la chlorose. Ainsi, des *Carignans* greffés sur *Riparia* ne se chlorosent pas jusqu'à 40 o/o de calcaire, tandis que 12 o/o suffisent pour chloroser des *Terrets-bourrets* sur le même porte-greffe. Certains plants français, comme le *Carignan* et la *Clairette de Die*, guérissent, ainsi que l'a rappelé E. Missol (1893), leurs porte-greffes de la chlorose, ou au moins leur communiquent leur résistance (V. aussi Couderc, *Congrès de Lyon*, etc.).

Parmi les hybrides résistant à la chlorose et dus aux efforts de Couderc, Millardet, De Grasset, etc., nous devons citer le fameux Gamay × Couderc, etc.

Chaque plante, exclusive ou préférente, a donc son tempérament, sa constitution, c'est-à-dire ses qualités individuelles, avec lesquelles on est obligé de compter.

43. Causes intrinsèques diverses

Certaines dispositions de l'organisme, variables chez un même individu selon la nature, l'abondance, la qualité de l'alimentation, selon l'état général, etc., peuvent aussi influer sur la chlorose. Ces dispositions, telles que la réceptivité et l'immunité morbides, les idiosyncrasies, etc., pour être encore presque inconnues chez les plantes, n'en existent pas moins chez elles tout aussi bien, quoique à un degré moindre, que chez les animaux et chez l'homme.

III

CAUSES DIVERSES

44. Causes mixtes et multiples

Les facteurs dont nous venons d'esquisser l'action prépondérante ou accessoire dans la chlorose sont, la plupart du temps, réunis et combinés en plus ou moins grand nombre.

Ainsi les grandes chaleurs occasionnent à la fois l'excès d'émission aqueuse et le ralentissement de l'absorption par suite de la dessiccation du sol, etc. Pour qu'un sol non calcaire puisse engendrer la chlorose, il faut qu'il soit à la fois argileux, ou argilo-siliceux, et compact (1). Les sols noirs sont à la fois chauds et sombres, les sols blancs sont froids et lumineux, etc.

Enfin, il est des chloroses produites par un « ensemble de conditions défavorables », qu'il est parfois difficile de préciser et même d'esquisser.

En somme, si la chlorose est primordialement occasionnée par le sol, elle est ordinairement aggravée ou atténuée par plusieurs facteurs secondaires.

45. Causes accidentelles

Enfin, il est une dernière catégorie de facteurs de la chlorose. Ce sont les causes *accidentelles*, qui tendent à affaiblir, à épuiser ou à mutiler les plantes: telles sont les blessures causées par la grêle sur les tiges et les feuilles herbacées ; les mutilations produites sur les troncs par les bestiaux, sur les tiges par les insectes, sur les racines par les instruments aratoires, etc., et en général toutes les lésions traumatiques d'origine diverse.

Toutefois, selon nous, ces lésions sont très rarement capables d'occasionner la chlorose à elles seules. La compression aurait une action plus marquée. Plenck (1798) avait déjà indiqué la chlorose des Graminées dont le chaume est comprimé par les pierres ou par la terre durcie des chemins.

---

(1) Comme le sont les *boulbènes* froides

Nombre de botanistes ont fait la même remarque.

Toutefois, d'après l'Abbé Boullu, ces cas de compression des Graminées amèneraient non pas la chlorose, mais seulement le nanisme et la viviparité (*Poa vivipara*, etc.).

IV

RÉSUMÉ

Dans le tableau comparatif suivant (p. 400), nous résumons toutes les causes ci-dessus énumérées et décrites, en les classant par ordre d'importance.

V

CONCLUSIONS

Interprétation des résultats d'observations et d'expériences. Erreurs a éviter, notamment en Viticulture.

Toutes les causes génératrices ou modificatrices que nous avons passées en revue peuvent non seulement s'associer et se combiner entre elles à l'infini, mais peuvent aussi être entourées et voilées plus ou moins par des circonstances étrangères qu'il importe de savoir distinguer pour éviter des erreurs et des confusions, souvent funestes, dans l'interprétation des résultats.

Si, d'aventure, des voix discordantes, et restées d'ailleurs sans écho, s'élèvent pour rejeter toute influence du sol et surtout du calcaire dans l'étiologie de la chlorose, cela tient justement à ce que l'on n'a pas toujours su ou voulu séparer les causes vraies et les épiphénomènes apparemment connexes.

C'est ainsi que l'on a pu dire que la chlorose n'existait pour ainsi dire pas et que les viticulteurs n'y prêtaient aucune attention avant que les «marchands de bois américains», intéressés à la reconstitution, n'eussent montré le danger en l'exagérant.

Rien n'est plus faux : la chlorose a existé, en ce qui concerne les Vignes américaines en particulier, on peut dire du jour de

TABLEAU résumé et comparatif des principaux agents générateurs et modificateurs de la chlorose

Causes atténuantes		Causes génératrices et aggravantes
— Climat continental, chaud, sec, régulier. — Etat hygrométrique moyen. — Lumière d'intensité moyenne.	FEUILLE (Atmosphère)	— Climat marin, humide, froid, inégal. — Forte pression atmosphérique. — Vent fort et prolongé succédant au calme. — Excès d'acide carbonique. — Excès ou absence de vapeur d'eau — Excès ou insuffisance de lumière. — Animaux parasites ou commensaux. — Plantes parasites ou commensales. — Microorganismes.
Causes atténuantes générales : — Bonnes conditions culturales. — Forte constitution, héréditaire ou acquise. — Ensemble de conditions favorables.		*Causes aggravantes générales :* — Mauvaises conditions culturales. — Faiblesse constitutionnelle, héréditaire ou acquise — Ensemble de conditions défavorables.
	TIGE	— Compression. — Greffage. — Lésions traumatiques et autres. — Animaux parasites ou commensaux — Plantes parasites ou commensales — Microorganismes.
— Expositions S.-E., S. et S.-O. — Pente faible et uniforme.	Surface du sol	— Expositions N. et N.-O. — Pente excessive et inégale.
— Sol fertile. — Sol acide, atténuant pour silicicoles. — Sels magnésiens. — Sels de potasse, atténuants pour les calcifuges. — Sels de fer. — Silice. — Couleur sombre du sol., — Humidité moyenne et constante — Chaleur moyenne. — Calcaires grossiers et durs, sont peu nocifs. — Argile, à dose moyenne. — Sable en excès. — Plâtre? etc.	(Sol) Végétal RACINE	— Sol trop fertile. — Sol pauvre. — Sol incomplet. — Sol acide, aggravant pour calcicoles. — *Calcaire* (carbonate de chaux). — Manque de fer. — Silice colloïdale. — Excès de matières azotées. — Excès d'acide carbonique du sol. — Sels divers : de baryum, zinc, plomb, etc. — Compacité du sol. — Calcaires blancs, tendres et ténus — Epaisseur insuffisante du sol. — Couleur blanche du sol. — Humidité excessive. — Sécheresse excessive ou prolongée. — Chaleur ou froid excessif. — Humus en excès. — Argile en excès ou insuffisante. — Plâtre? etc.
Sous-sol sableux ou calcaire, perméable.	Sous-sol	Sous-sols marneux, argileux, glaiseux ou rocheux imperméables.

la première plantation de ces Vignes. « Tous les viticulteurs, disait à ce propos F. Sahut en 1886, se préoccupent, avec juste raison, de la situation souvent fâcheuse dans laquelle se trouvent un certain nombre de vignobles reconstitués en cépages américains... Cette situation, dont on commence à peine à se préoccuper, n'est pourtant pas un fait nouveau. Il suffisait d'ouvrir les yeux en parcourant les vignobles...». Et F. Sahut ajoutait, à propos des relations entre la chlorose et l'adaptation au sol : «Cette question n'est dont pas nouvelle, comme on le voit. Les mêmes phénomènes qui se manifestaient il y a deux et trois ans continuent à se produire... ; seulement ils sont plus fréquents, parce que les plantations faites pendant ces dernières années sont beaucoup plus nombreuses. Aussi frappent-ils davantage les regards».

Quant aux causes d'erreurs qui, souvent, faussent les résultats des essais de culture des plantes silicicoles en sols calcaires, effectués en vue d'étudier l'adaptation et la résistance à la chlorose, elles sont nombreuses. Voici les principales :

1° Erreurs provenant du manque d'homogénéité du sol.— Le sol d'une plantation est rarement homogène ; sa constitution physique, et même parfois (en sols d'alluvion, par exemple) sa composition chimique peut varier beaucoup d'un point à l'autre. « Souvent une plantation faite avec une même variété présente, dit Ravaz à qui nous empruntons une partie de ces considérations (1), en quelques endroits, des souches plus ou moins vigoureuses, plus ou moins vertes qu'ailleurs ; l'examen du sol donne généralement la clef de ces différences. De pareils faits peuvent se produire dans les champs d'essais, et il ne paraît pas qu'il en ait toujours été tenu compte, à en juger par la bizarrerie de certains résultats publiés ».

(1) L. Ravaz *Les nouveaux cépages. Résistance phylloxérique et adaptation (Progrès agricole*, 1898).

Félix Sahut. *La Jaunisse ou chlorose des Vignes* (*Messager agricole*, 1886). Dans cette note, F. Sahut émet des idées très intéressantes qui ont d'ailleurs été reprises et développées depuis par d'autres auteurs-viticulteurs.

2° **Erreurs provenant de sols à propriétés physiques différentes.** – Il faut se garder de comparer des cultures d'une même espèce ou variété en sols physiquement différents, c'est-à-dire compact et imperméable d'une part, meuble et perméable d'autre part. On doit exclure, pour les champs d'expériences, tous les sols chlorosants compacts, et préférer les terrains meubles, parce qu'une variété à racines grêles, tout en étant aussi résistante à la chlorose, en réalité, qu'une autre à racines puissantes, pourra néanmoins se chloroser plus facilement, en apparence, dans un sol compact. «Il est d'ailleurs toujours facile d'appliquer aux sols compacts les résultats obtenus dans les sols meubles, en tenant compte de la puissance du système radiculaire ».

3° **Erreurs provenant du mode de plantation.** — Chez la Vigne, «des différences de végétation s'observent également, dit encore Ravaz, sur une même variété, suivant qu'elle a été plantée en boutures à la barre, ou en racinés dans des trous. Les souches issues de boutures sont, au moins au début, plus faibles que les secondes, et par suite plus sensibles à l'action nocive du sol. Mais ce n'est pas tout. Dans les terres crayeuses, telles que celles des Charentes, où la terre a peu d'épaisseur, la plantation à la barre est forcément profonde. Au lieu d'être exclusivement placées dans le sol, les boutures plongent par leur base dans le sous-sol ; les racines qu'elles émettent se trouvent immédiatement au contact d'une terre maigre et plus calcaire que la terre de la surface, et dont elles ne sortent que difficilement.

Dans ces conditions, elles doivent jaunir beaucoup plus que les plants racinés, qui sont toujours exclusivement placés dans la terre arable et dont les racines ne sont pas en contact avec le sous-sol... Il sera prudent de n'établir de comparaison qu'entre variétés plantées de la même manière ».

4° **Erreurs provenant des variations météorologiques.** — Les variations dans les conditions atmosphériques, par exemple les années de sécheresse succédant à une période humide, ou *vice versa*, peuvent, si l'on n'y prend garde, fausser les conclusions et induire en erreur. En voici un exemple donné par Ravaz : « En 1889 furent plantés, dans un sol profond de 15 cen-

timètres, et dosant 54 o/o de carbonate de chaux, des *Solonis*, tous greffés en *Folle blanche* ; en 1891, presque tous étaient morts. Quarante ou cinquante souches résistèrent. Survinrent alors, en 1892, les sécheresses que l'on sait ; actuellement ces greffes de *Solonis* sont très belles et très vertes. Et l'on sait depuis longtemps que, dans ces terrains, le *Solonis* est très insuffisant » !

Nous avons vu aussi que des pluies abondantes peuvent produire une élévation brusque et passagère du taux du calcaire dans le sol ; d'où, des chloroses faibles dont il ne faut pas se préoccuper beaucoup. Le calcaire peut donc, de la sorte, apparaître et disparaître, pour ainsi dire, alternativement, et les choses se passent *comme s'il pleuvait du calcaire* !

5° **Erreurs provenant d'essais insuffisants.** — Pour arriver à des résultats inattaquables, il faut opérer non pas sur quelques dizaines de pieds, mais, comme l'a fait Prosper Gervais, sur des centaines, des milliers d'individus de la même espèce ou variété.

Il faut, d'autre part, intercaler dans tout essai de culture des variétés très diverses : *Vialla*, *Riparia*, *Solonis*, *Jacquez*, *Berlandieri*, Vignes de pays, etc., dont la sensibilité variable à la chlorose est déjà bien connue et servira de repère et de contrôle, et permettra d'établir une échelle de résistance.

6° **Erreurs provenant de l'état des plants.** — Les plantes expérimentées, arbustes, arbres, vignes, etc., « sont presque toujours forcément de provenance fort diverses : on les reçoit et on les plante plus ou moins bien conservés, et rien de surprenant à ce que, dans leur végétation, elles présentent des différences qui ne soient pas dues exclusivement à l'action du sol. Cette cause d'erreurs, on n'est jamais bien certain de la supprimer, quelque soin que l'on prenne, mais on peut l'atténuer beaucoup par des essais répétés ». De plus, l'état des plants « au moment de la plantation influe beaucoup sur la végétation ultérieure. Les vignes plantées avec des racinés très sains, vigoureux, demeurent toujours plus fortes que celles qui sont établies avec des racinés défectueux, faibles, ou qui ont souffert de la sécheresse ou du froid ; elles jaunissent moins

dans les sols calcaires. Ces remarques, tout le monde a pu les faire dans les vignobles. Elles expliquent peut-être les divergences d'opinion qui existent encore sur la valeur d'un certain nombre de variétés fort répandues. Les uns préfèrent, par exemple, le *Riparia Gloire*, d'autres, le *Riparia Grand Glabre*, pour un même sol ; il n'est pas douteux que les différences de végétation qui ont dicté les préférences de chacun ne soient la conséquence de la qualité des plants au moment de la plantation ».

7° **Erreurs provenant de l'âge des plants.** — « Ce qu'il faut aussi n'interpréter qu'avec beaucoup de prudence, ce sont les résultats constatés dans les champs d'essais les plus anciens, et ceci à cause de la diminution de la sensibilité à la chlorose à mesure que les plants vieillissent. Il suffit, en effet, qu'une Vigne ne meure pas à la troisième année pour qu'elle reprenne fréquemment, par la suite, une végétation normale ».

8° **Erreurs provenant de parasites : Phylloxera, Mildew, etc.** — Nous en avons déjà parlé en passant notre revue critique des causes de la chlorose. Rappelons que les Vignes de pays, et quelques américaines, peuvent jaunir lorsqu'elles sont atteintes par le phylloxera ; si on n'examine pas les racines des Vignes chlorosées, on est exposé à « mettre sur le compte d'une insuffisante résistance à la chlorose ce qui est dû au phylloxera. Les essais, en tant qu'il s'agit de détermination de la résistance à la chlorose, doivent être faits à l'abri des attaques du phylloxera. La résistance à ce dernier parasite doit être étudiée à part ; il importe néanmoins d'étudier l'action combinée de ces deux causes d'affaiblissements ». Le mildew et d'autres parasites ou maladies viennent également ajouter leur action propre, qu'il faut toujours savoir distinguer, à l'influence du sol.

9° **Erreurs provenant de l'état des greffes.** — « Un plant mal soudé jaunit évidemment plus qu'un plant bien soudé, les greffes qui poussent tardivement et faiblement jaunissent aussi beaucoup, et celles-ci, il est bien difficile qu'elles se relèvent: elles peuvent jaunir et se rabougrir où, bien réus-

sies, elles auraient prospéré. Tirer des conclusions des greffes dont la reprise et le développement ont été médiocres, c'est s'exposer à mal juger les Vignes essayées ».

10° **Erreurs provenant de l'oubli d'analyse du sol.** — Notre revue critique des causes de la chlorose nous a démontré que plusieurs éléments ou propriétés du sol ont une influence marquée sur cette affection dystrophique.

Il n'est donc permis à quiconque de nier l'influence du sol, et surtout du calcaire, dans tel ou tel cas de chlorose, si l'on n'a auparavant effectué l'analyse complète du sol en question. Cette analyse ne révèlera pas seulement le taux brut du calcaire, mais encore sa ténuité, son association à l'argile, etc.. et aussi la richesse du sol en matières assimilables.

Conclusions. — Ces causes d'erreur ne sont point les seules qui peuvent fausser l'interprétation des résultats ; il y en a beaucoup d'autres moins importantes, mais dont il faudrait cependant tenir compte.

Au surplus, la bizarrerie et la discordance de certains résultats publiés ou énoncés dans les réunions, congrès, etc., nous prouvent, sans qu'on puisse ordinairement mettre en doute l'esprit d'observation et la compétence de leurs auteurs, combien l'interprétation des faits est délicate.

Pour bien comparer entre elles des espèces ou variétés d'arbustes, d'arbres, de Vignes, etc., à préférences géiques spéciales, « il faut donc les suivre constamment dans leur développement ; autrement on s'expose à enregistrer quelques-unes de ces conclusions fantastiques qu'on trouve dans quelques comptes rendus de visites faites au pas de course » (L. Ravaz).

CHAPITRE SIXIÈME

DIAGNOSTIC ET DÉFINITION DE LA CHLOROSE OU FLAVESCENCE, ET DES PRINCIPALES ALTÉRATIONS TROPHIQUES DES FEUILLES

Les termes *chlorose*, *étiolement*, *jaunisse*, *ictère*, *panachure*, *rubéfaction*, *variégation*, *maculature*, *blanchiment*, *état cachectique*, *dépérissement automnal*, *argyrescence*, *nanisme*, *pallescence*, *albication*, etc., sont employés, un peu à tort et à travers et sans règle précise, pour désigner tout un ensemble d'altérations trophiques des feuilles.

Ces expressions, pour la plupart, sont extrêmement défectueuses ; la première, *chlorose*, est surtout vague et erronée à la fois dans son étymologie et dans son application, eu égard au phénomène qu'elle sert à désigner ordinairement ; elle a, en outre, l'inconvénient d'établir une confusion impropre et inexacte avec une affection morbide humaine de même nom. Les autres expressions sont toutes également vagues, impropres ou appliquées diversement selon les auteurs.

C'est pourquoi, malgré la répugnance que nous éprouvons à l'égard des néologismes, trop nombreux et trop facilement créés, nous nous sommes vu dans l'obligation d'établir une nomenclature, nouvelle et à désinence uniforme, des principales altérations trophiques des feuilles. Cette nomenclature nous sera indispensable pour les descriptions et les diagnostics que nous allons présenter, et aura l'avantage, si elle est adoptée, au moins par le public scientifique, de faire cesser des confusions dans le langage et dans la pensée. Toutefois, les expressions défectueuses rappelées ci-dessus étant définitivement consacrées et perpétuées par l'usage dans le langage de la plupart des

praticiens (viticulteurs, horticulteurs, agronomes, etc.), nous les respecterons et les conserverons en nous efforçant de les joindre à ceux de nos nouveaux termes dont elles se rapprochent le plus.

Les différentes altérations trophiques dont nous allons donner les caractères les plus importants sont résumées dans le tableau-plan ci-après. Nous donnerons, pour chacune : 1° La *définition* ; 2° les *principaux végétaux atteints* ; 3° les *principales variétés ;* 4° l'*étiologie* (causes principales) ; 5° les *caractères morphologiques externes* ; 6° les caractères *morphologiques internes* (histologie générale ; contenu cellulaire) ; 7° les *caractères physiologiques* ; 8° les *caractères chimiques* ; 9° le *pronostic* ; 10° le *traitement* s'il y a lieu.

Nous ne parlerons pas de certaines altérations foliaires, ou de certains aspects particuliers dus à des causes accidentelles et non dystrophiques, tels que l'*asphyxie*, la *brûlure* par le froid ou la chaleur, la *pourriture infectieuse*, la *glaucescence*, etc.

Ces états spéciaux ne sauraient trouver place que dans une description générale, que nous n'avons pas à entreprendre ici, des états pathologiques ou tératologiques des feuilles.

Principaux états dystrophiques des feuilles

1° Flavescence ou *Chlorose* proprement dite (dystrophie d'origine géique par mauvaise nutrition minérale).

2° Etiolescence ou *Tabescence* ou *Etiolement proprement dit* (dystrophie par défaut de lumière, sans troubles d'origine géique).

3° Sénilescence ou *Dépérissement* (automnal ou non), précédé ou non de jaunissement ou rougissement.

4° Variescence (colorations diverses des feuilles, sans gravité, souvent transmissibles par multiplication de la plante, mais toujours accompagnées de troubles dystrophiques généralement très bénins).

a. *Variescence proprement dite* ou *Panachure* proprement dite (zones, bandes ou taches de nuances variant du vert sombre au jaune clair).

b. *Aurescence* (feuilles jaunes dorées).

c. *Albescence* (feuilles zonées ou tachées de blanc).

d. *Argyrescence* (feuilles à zones ou taches argentées, produites par une couche d'air sous-épidermique).

e. *Rubescence* (feuilles rouges en totalité ou en partie).

f. *Nigrescence* (feuilles à taches unicolores brunes ou noirâtres).

g. *Pluricolorescence* (feuilles à zones ou taches de plusieurs couleurs).

5° Pumilescence ou *Nanisme* (atrophie générale et rabougrissement, mais sans altérations de la teinte verte).

1° FLAVESCENCE ou CHLOROSE PROPREMENT DITE

CHLOROSIS ; BLEICHSUCHT (*chlorosis*, teinte pâle) ; GELBSUCHT (*Icterus*, teinte jaune)

1° Définition. — La *flavescence* ou *chlorose proprement dite* est une altération dystrophique des feuilles, à marche centripète, passagère ou chronique, d'origine géique, et se traduisant par une décoloration prématurée et progressive de la teinte qui passe graduellement du vert foncé au jaune blanchâtre ou crémeux.

En d'autres termes, la chlorose des feuilles est le symptôme principal, mais non le seul, du trouble ou de l'arrêt de la nutrition provenant de défectuosités physiques ou chimiques du substratum géique. Certaines circonstances, de diverse nature, interviennent ordinairement, mais toujours accessoirement à la nature du sol, comme causes aggravantes ou atténuantes.

La chlorose des feuilles n'est jamais autopathique ; elle est toujours sous la dépendance absolue des conditions de milieu, et toujours est liée à des troubles nutritifs généraux ; elle n'est point nécessairement mortelle ; elle atteint tout ou partie du système foliaire.

La définition que nous venons de formuler et de développer nous permet de séparer nettement la chlorose vraie ou flavescence de l'étiolement, qui n'est pas d'origine géique et qui est accompagné de déformations caractéristiques des organes, et du dépérissement automnal qui est un phénomène général, périodique, inévitable et tardif.

Toutefois, les auteurs qui nous ont précédé ont souvent confondu ces trois états dystrophiques. Voici, à titre de documents, quelques-unes des principales définitions déjà données de la chlorose ; toutes ces définitions sont inexactes ou incomplètes :

En 1794, PLENCK a défini ainsi la chlorose :

Chlorosis : impallescentia et teneritudo totius plantæ ; il classait cet état morbide dans les cachexies :

Cachexiæ : malus totius plantæ color et habitus.

ARTHUR GRIS (1857) : «Nous entendons par chlorose cet état

de langueur et de faiblesse qui se manifeste par une pâleur plus ou moins prononcée des feuilles, sur une plante placée cependant dans les conditions ordinaires de la vie végétale, exposée à l'air libre et à l'influence de la lumière».

Définition incomplète parce qu'elle n'indique pas la cause tellurique ; inexacte, parce qu'elle laisse croire que les plantes chlorotiques sont cependant dans des conditions normales.

Knop (1863) : «La chlorose est due à différentes causes ; elle provient d'un trouble général dans la nutrition et peut être occasionnée par un manque absolu de fer». Définition vague et incomplète.

J. Sachs (1868) : «La chlorose est la coloration blanche des feuilles par manque de fer». Définition inexacte et incomplète, car la coloration chlorotique n'est pas complètement blanche, et que le manque de fer n'est ni la cause principale ni la seule cause.

E. Missol (1894) : «La chlorose est la manifestation, par les cépages américains, de la souffrance que leur cause la présence du calcaire». Cette définition n'est pas inexacte, mais elle est vague, incomplète et paraît ne s'appliquer qu'à la Vigne.

D'Arbois de Jubainville et Julien Vesque (1878) : «La chlorose est une coloration jaune pâle des feuilles, due à un éclairage insuffisant. L'ictère ou jaunisse résulte d'un trouble dans l'absorption des matières minérales». Cette double définition est inexacte et vague ; elle confond chlorose et étiolement et emploie les mots équivoques de jaunisse et ictère.

L. Ravaz (1899) : «La chlorose est une maladie qui se déclare à peu près exclusivement dans les terrains calcaires et qui est caractérisée par le jaunissement des feuilles, des rameaux et des grappes». Définition incomplète comme ne s'appliquant qu'à la Vigne, et parce que la chlorose n'est pas une maladie, mais un des symptômes de la dystrophie géique.

Pour Viviand-Morel, la chlorose est un état morbide peu précis et sert à désigner toute une «kyrielle de maladies», parmi lesquelles la maladie provenant de la répulsion des calcifuges pour le calcaire.

Notre définition que nous avons formulée plus haut sera suffisante, nous l'espérons, pour donner au terme chlorose un

sens botanique et nosologique suffisamment précis et large à la fois pour éviter les équivoques et la confusion.

2° **Plantes atteintes.** — Ainsi que nous l'avons vu dans le cours de nos recherches, la chlorose est une dystrophie qui peut affecter les plantes les plus diverses : Phanérogames, Cryptogames vasculaires, Muscinées et Thallophytes à chlorophylle. Elle atteint particulièrement les plantes calcifuges ou silicicoles qui végètent en terrains calcaires.

3° **Variétés.** — Les variétés de chlorose sont innombrables dans leurs aspects et dans leur gravité ; ces variations dépendent non seulement de la combinaison des conditions géiques avec les conditions atmosphériques et autres, mais aussi du tempérament spécifique et même individuel de chaque plante considérée. Pour la commodité de la description, nous avons ramené les états chlorotiques à quatre degrés progressifs.

4° **Étiologie.** — La source première de la chlorose réside dans le sol. Le calcaire est sans contredit la cause de la très grande majorité des chloroses. Les chapitres précédents sont suffisamment explicites pour nous dispenser de discuter à nouveau les causes principales ou accessoires, intrinsèques ou extrinsèques, aggravantes ou atténuantes, de la dystrophie flavescente.

5° **Symptomatologie : Caractères morphologiques externes.** — α. *Incubation.* — La chlorose *couve*, pour ainsi dire, plus ou moins longtemps dans la plante avant de se manifester à l'extérieur.

β. *Apparition.* — La chlorose débute par une diminution progressive de l'intensité normale de la teinte verte.

γ. *Développement.* — Des plages de couleur vert-jaunâtre, puis jaune-verdâtre, puis jaune, apparaissant çà et là sur le limbe, entre les nervures, ces dernières restant le plus souvent encore vertes alors que tout le limbe est décoloré.

δ. *Terminaison.* — A un degré extrême (4e degré. Voir les descriptions détaillées données dans les chapitres précédents), la couleur passe au jaune crémeux, puis enfin au jaune-blan-

châtre ; finalement, la teinte feuille morte, signe de mort, envahit la feuille qui se recroqueville partiellement et qui périt sans tomber.

6° **Caractères morphologiques internes.** — Le microscope révèle, dans le mésophylle de beaucoup de feuilles, et surtout de celles qui sont en puissance ou en imminence de chlorose, l'existence de nombreuses cellules à contenu altéré, à grains de chlorophylle moins abondants, moins gros, moins colorés, moins visibles et moins riches en granules amylacés.

Les feuilles qui sont chlorotiques dès leur naissance restent naines ; elles ont un parenchyme en palissade moins développé, des cellules moins volumineuses, des nervures moins riches en parenchyme libéro-ligneux ; les feuilles à chlorose acquise secondairement n'ont aucune différenciation particulière dans l'agencement histologique et ont une taille normale.

Quant au contenu cellulaire, il présente des caractères non équivoques, quoique variables: *chloroleucites* d'abord plus clairs, plus pauvres en amidon ; puis petits, décolorés, à contours peu nets, privés d'amidon ; puis finalement désagrégés, décomposés par suite de la séparation du substratum protoplasmique et de la matière verte qui se réunit en grumeaux et en gouttelettes huileuses pour disparaître ensuite. Disparition des *amyloleucites* ; augmentation progressive des vacuoles et du *suc cellulaire* par décomposition inverse du *protoplasma* ; diminution d'acidité du suc cellulaire ; le *noyau* persiste tant qu'il y a encore du protoplasma vivant. Dans certains cas, abondance de *cristaux* calciques ; multiplication considérable des *cristalloïdes* protéiques et des *microorganismes* phyllobiens. En somme, dégénérescence complète par troubles de la nutrition et de l'assimilation.

7° **Caractères physiologiques.** — Dans les chloroses manifestes et intenses, la fonction chlorophyllienne est considérablement ralentie ; la respiration continue à peu près normalement ; la transpiration et la chlorovaporisation sont très généralement exagérées.

Ces fonctions disparaissent progressivement, dans les chloroses ultimes, au moment de la mort des cellules.

8° **Caractères chimiques.** — La précipitation, en cristaux insolubles, du carbonate de chaux et autres sels calciques; la diminution d'acidité des liquides cellulaires ; la richesse des tissus en chaux, fer et silice, et leur pauvreté en potasse et en acide sulfurique, tels sont les principaux caractères chimiques des feuilles chlorotiques.

9° **Pronostic.** — Aux 1er et 2e degrés, la chlorose est ordinairement passagère, et disparaît au retour des bonnes conditions de végétation; aux 3e et 4e degrés, la chlorose devient toujours chronique, grave, et très souvent mortelle.

10° **Traitement.** — Nous n'avons point l'intention d'indiquer ici, même sommairement,les innombrables remèdes et procédés prônés tour à tour par des expérimentateurs parfois trop zélés, et trop intéressés peut-être, pour la guérison de la chlorose.

Nous nous bornerons à citer sommairement les principaux et les plus scientifiques parmi ces procédés.

La chlorose, d'ailleurs, n'étant pas *une maladie*, n'a pas de remède, et il est illogique de vouloir donner aux feuilles ou aux racines seules des antidotes spécifiques et locaux qui ne sauraient être que de fugaces palliatifs, puisque le processus chlorodystrophique atteint la plante entière jusque dans les profondeurs de ses tissus. Nous ne sommes cependant point aussi pessimiste que G. Coutagne qui écrivait en 1892 : « Ce qu'on sait de la chlorose est en somme suffisant pour qu'on renonce sinon à en étudier le mécanisme, du moins à essayer de la guérir... Quant à *guérir* la chlorose et à chercher des *remèdes* pour les vignes chlorosées, laissons cette entreprise chimérique pour ceux qui ne peuvent ou ne veulent comprendre ce que c'est qu'une plante calcifuge... Je persiste à traiter de chimère la recherche d'un *bon remède chimique* pour la chlorose due à l'*excès de calcaire*. Je reconnais volontiers, toutefois, que la poursuite d'une chimère peut conduire parfois à une découverte ».

Nous devons distinguer, parmi ceux proposés, les traitements *préventifs* et les traitements *curatifs*.

α. Traitements préventifs. — Ils sont basés sur la parfaite connaissance du sol. Ce sont :

1° *La bonne culture.* — Il est bon d'ameublir le sol par plusieurs binages et défonçages successifs avant la plantation, en ayant soin, si le sous-sol est calcaire, de ne pas trop le remuer ni l'entamer (Cazeaux-Cazalet, 1892). Les drainages, les fumures, les engrais (Coste-Floret, 1898, etc.) ont une action très préventive et préservatrice également.

2° *Les amendements.* — Les amendements, qui modifient le sol, doivent être employés quand ils ne sont pas trop onéreux. Ainsi, dans la grande Champagne, depuis quelque temps, ont dépose dans les trous de plantation des cendres pyriteuses, de l'argile ou de la tourbe décalcifiée, pour diminuer le pouvoir chlorosant de certains sols. La terre non calcaire, le sable ferrugineux ou non, les scories, le mâchefer, sont également de bons amendements antichlorosants.

3° *Le choix des cépages et des greffes.* — Les greffes transplantées souffrent moins de la chlorose que les greffes faites en place, même sur des sujets âgés (Cazeaux-Cazalet).

Les plantes à végétation et radicification lentes et tardives souffrent moins de la chlorose que celles à végétation rapide.

Pour la Vigne, le choix des cépages résistant à la chlorose varie selon le terrain, le climat, l'altitude, etc.

4° *L'épandage de matières noires*, inertes ou actives, à la surface du sol, peut également prévenir la chlorose lorsque le sol n'est pas trop calcaire (Foex, A. Boyé, Coste-Floret, etc.), en favorisant l'échauffement du sol qui, à son tour, dilate les gaz nocifs (acide carbonique, etc.) et les chasse par expansion, régularise l'humidité du sol et active les réactions chimiques souterraines au niveau des poils absorbants.

β. Traitements curatifs. — Ils sont, pour la plupart, empiriques et d'une efficacité restreinte ou irrégulière. Les principaux sont les sels de fer, le plâtre, la chaux, les antiseptiques, la potasse, les phosphates, etc.

1° *Sels de fer.* — Le sulfate de fer (vitriol vert) est un très

vieux remède, administré de temps immémorial aux arbres souffreteux par tous les jardiniers de France et de Navarre!

Dès 1840-1845, Eusèbe Gris a traité la chlorose en incorporant au sol des cristaux de sulfate de fer ou en pulvérisant des solutions ferriques sur les feuilles.

Son fils Arthur Gris, en 1857, a montré par ses observations microscopiques l'action réelle du fer sur les grains de chlorophylle, qui deviennent plus gros, plus foncés, plus nombreux.

Depuis 1865-1868, Decaisne, Duchartre, Dubreuil, Bleu, Girardin (1877), Dr Menudier, Dr Griffiths, Marguerite-Delacharlonny, et avec eux de nombreux expérimentateurs, ont vérifié l'exactitude des expériences de Gris. L'emploi du sulfate de fer est entré dans le domaine de la pratique agricole et horticole.

D'autres sels de fer ont été aussi employés: chlorure, pyrolignite, citrates, etc.

Ces sels sont employés, soit en cristaux ou en poudre au pied des plantes ou dans le sol même, soit en solutions (300 à 500 grammes dans 10 litres d'eau) répandues autour des racines, soit en solutions faibles (à la dose de 10 grammes par litre d'eau) pulvérisées sur les feuilles (Gris, B. Pons, etc.), soit en solution concentrée (40 o/o) appliquée au pinceau sur les plaies de taille (procédé récent du Dr Rassiguier) ou sur des lésions artificielles (M. Giraud), surtout les deuxième et troisième années de plantation pour les plantes vivaces (Vignes). Le fer en cristaux est moins actif et moins favorable qu'en solution.

Quant aux époques du traitement, elles varient selon les auteurs : au printemps selon les uns, en août selon les autres (Cazeaux-Cazalet, etc.), en hiver d'après quelques-uns (B. Pons, 1891, etc.) ou au moment de la taille pratiquée prématurément à fin octobre et novembre (Ravaz, 1898, etc).

Quelques auteurs n'ont qu'une confiance limitée ou ne croient même pas à l'influence antichlorotique des sels de fer. Knop (1862) a, en effet, nié cette influence. Joulie (1886-1888) a considéré les traitements au fer comme purement empiriques et a même qualifié l'action du fer de fantaisiste et d'imaginaire !

Pour P.-P. Dehérain (1878, etc.), Grandeau, etc., le sulfate de fer exerce sur la végétation l'action la plus fâcheuse, parce qu'il enlève au sol une partie de l'oxygène nécessaire à la germination et au bon fonctionnement des racines. Cette explication n'a qu'une valeur de probabilité.

Les expériences de Müntz, Grandeau, Wrightson et Mauro, Gaillot, etc., tendent aussi à démontrer que le fer ne joue aucun rôle dans la production ou la guérison de la chlorose.

Degrully et Gastine (1894), tout en constatant que les feuilles reverdissent après apport de fer, ont nié, pour la Vigne, toute relation entre le fer et la chlorose (1). Georges Bellair (1896) a affirmé que le fer seul, sans engrais complet, ne supprime pas la chlorose.

Au surplus, l'action du sulfate de fer dans les plantes est évidemment fort mal connue encore.

Sachs a émis l'hypothèse d'une action directe et brutale du fer sur la plante ?

Pour E. et A. Gris, l'action du fer est spécifique et indépendante du sol, puisqu'il agit en applications sur les feuilles.

Cette action est triple : le fer développe la plante et colore ses fleurs ; il supprime la chlorose en reconstituant la chlorophylle ; il détruit un certain nombre de parasites.

Pour Ad. Chatin (1886), le sulfate de fer agirait comme simple colorant, par suite de la formation du tannate de fer vert-noirâtre. Cette explication n'est guère plausible, car il est facile de constater que le verdissement est bien dû à la chlorophylle.

Pour Max Tord (1889), Viala et Ravaz (1892), etc., le sulfate de fer, versé sur le sol, précipiterait le calcaire à l'état de sulfate de chaux. Cette explication est très admissible.

Pour Cazeaux-Cazalet (1886-1892), le fer agit « en donnant l'activité aux racines, en faisant reprendre la turgescence aux cellules. Il ne fait pas reverdir les feuilles jaunes (cette assertion, contraire à l'opinion générale, est appliquée d'ailleurs,

(1) V. aussi les travaux de J. Crochetelle sur la chlorose et le sulfate de fer.

par l'auteur, uniquement à la Vigne); on voit seulement les jeunes feuilles, sorties après le traitement, d'une jolie couleur verte. La jaunisse ne disparaît complètement que l'année suivante.... La forte acidité des matières cédées à l'eau distillée par des racines qui ont été traitées au sulfate de fer tendrait à prouver que le fer agit localement sur les racines, comme il agit localement sur les feuilles... Dans le cas du traitement des racines, il y a non seulement excitation des organes, mais création d'un milieu propice à la croissance des racines normales ; cela rend le traitement durable et sensible sur le feuillage par voie de conséquence ».

Pour A. Bernard (1892), le sulfate de fer agit seulement et activement dans le sol. Dans les sols acides, le sulfate de fer aura une action nuisible, parce qu'il ne fait qu'ajouter à l'acidité native du sol. Dans les sols où il existe en excès, il sera funeste, parce que, à supposer même que ce fût un engrais, tout engrais en excès est un poison. Et lorsqu'on le rencontre dans le sol (sols pyriteux), c'est qu'il provient lui-même du sulfure de fer qui s'attaque lentement et se sulfatise sous l'influence de l'eau et de l'air. Dans les sols calcaires, le sulfate de fer agit comme *destructeur du calcaire*, après sa peroxydation. Le sulfate de fer et le calcaire, dans le sol, se détruisent donc réciproquement, lentement et simultanément. Voici d'ailleurs les conclusions de Bernard : 1° le fer, par ses sels au minimum, est sans action sur le calcaire ; 2° le fer passe plus ou moins facilement du minimum (sulfate de protoxyde, etc.) au maximum (sulfate de sesquioxyde), selon qu'il est dans un milieu acide, neutre ou alcalin ; 3° l'acidité retarde, comme l'alcalinité favorise la peroxydation ; 4° une fois arrivé à l'état de fer au maximum, en combinaison saline bien entendu, il devient destructeur du calcaire ; 5° une fois la rouille formée, le calcaire et le fer se sont décomposés en majeure partie, les sels solubles de chaux sont partis, mais alors, l'action continue, et réciproquement le sesquioxyde de fer se désoxyde en présence des matières organiques, et repasse à l'état de protoxyde, base forte qui se combinera avec les acides (acides sulfurique, carbonique, etc.) pour revenir à l'état de sulfate ou carbonate ; et le cycle recommence

En résumé, le fer est un véhicule de l'oxygène de l'air, il suffit donc, théoriquement du moins, d'une quantité *finie*, limitée, d'un sel de fer au minimum (sulfate, etc.), en présence de l'*air*, de l'*eau*, et des *matières organiques*, pour que la terre se décalcarise *indéfiniment*. Ces considérations, et d'autres idées connexes, sont développées magistralement dans les excellents travaux de A. Bernard.

Pour Viala (1893), le sulfate de fer agit *dans les plantes* en détruisant et neutralisant l'alcalinité des sucs cellulaires. Cet auteur a pensé aussi que les acides pourraient avoir une action analogue.

On sait, en effet (B. Pons, A. Bernard, etc.), que le suc acide des plantes est neutralisé par l'excès de calcaire. Le sulfate de fer serait un antidote, par son action exactement inverse. Pour J.-M. Guillon (1894), l'action du sulfate de fer est obscure, « le microscope n'apprend rien sur cette grave question. Il est probable que la partie du sulfate de fer non fixé par les cellules voisines de son point d'application dans les coursons se mêle au liquide séveux pour opérer une action qui reste encore à déterminer».

En 1896, V. Morel a admis les conclusions de G. Bellair sur les effets du sulfate de fer employé comme médicament : 1° il favorise la production de la chlorophylle, à condition que la *cause initiale* de la chlorose soit d'abord supprimée ; 2° c'est un réactif puissant qui favorise, selon l'expression de Raquet, la *décalcarisation* du sol. Mis en contact du calcaire, il transforme ce minéral en plâtre dont on connaît les bons effets en agriculture.

En définitive (1), notre conclusion est que le sulfate de fer est un spécifique de grande valeur contre la chlorose en sols calcaires, mais que cette action, indéniable quoique obscure, est souvent insuffisante et devient même nuisible.

---

(1) V. aussi : O. Laisné. *Du sulfate de fer dans l'Horticulture*, et Fischer. *Action du sulfate de fer en Horticulture*, *in* Journal de la Soc. nat. d'Horticulture de France, 1889. J. Crochetelle (*Congrès horticole* de 1895).

2° *Sels de cuivre.* — Les travaux de Nægeli, Haselhof, Lœw, Otto, Coupin, etc., ont montré que les sels de cuivre sont toxiques pour les racines, même à dose très faible. C'est pourquoi l'on pulvérise des solutions de sulfate de cuivre à 3 ou 4 o/o sur les champs de céréales, afin de détruire la Sanve (*Sinapis arvensis*) et les autres mauvaises herbes. On connaît aussi l'emploi général des sels cuivreux (bouillie bordelaise ou à la chaux, bouillie bourguignonne ou à la soude, bouillie au savon, bouillie sucrée) contre les plantes cryptogames parasites, notamment contre les Péronosporacées des feuilles de Vigne, de Pomme de terre, de Laitue, etc.

Cependant, en dehors de cette action toxique, les sels cuivreux auraient concurremment une influence bienfaisante sur la végétation. Cazeaux-Cazalet est, en effet, arrivé à guérir des Vignes chlorotiques par le sulfate de cuivre à 10 o/o ; il a signalé, ainsi que Rumm (1893), le verdissement très accentué qui se produit après les traitements à la bouillie bordelaise.

De nombreux viticulteurs ont remarqué que les Vignes sont souvent plus vigoureuses, et plus vertes, les années de maladie, quand les sulfatages ont été énergiques ; les horticulteurs, de même, obtiennent souvent de belles plantes à feuillage foncé, grâce à des pulvérisations de sels de cuivre. Ed. Griffon (1899), en rappelant aussi ces faits, y a ajouté les résultats de ses essais personnels et a conclu : « Le cuivre, à des doses très faibles, 1/10000 par exemple, absorbé par les racines que néanmoins il attaque, augmente la quantité de chlorophylle dans les cellules des feuilles, et fait croître par là-même et l'intensité de la coloration verte et l'énergie assimilatrice ».

3° *Antiseptiques.* — Les antiseptiques peuvent avoir une action curative marquée dans la chlorose, surtout si l'on admet l'influence possible des microorganismes.

Millardet, notamment, a prôné le rôle antiseptique du sulfate de fer sur la Vigne. Audoynaud (1892), admettant que les Vignes se chlorosent parce qu'elles absorbent parfois trop d'azotates, lesquels sont produits par une suractivité du ferment nitrique dans les terres alcalines chlorosantes, a pensé, comme conséquence, que les antiseptiques et en particulier le sulfate de fer pourraient, en s'opposant à la multiplication trop

active du ferment nitrique, constituer dès lors de bons remèdes de la chlorose.

Pour Coste-Floret (1898) également, le sulfate de fer agit comme antiseptique.

Malheureusement, si le sulfate de fer a réellement une influence antiseptique, elle est de courte durée, car ce sel se décompose assez rapidement. Néanmoins, l'idée paraît bonne et demande à être expérimentée à nouveau avec d'autres matières vraiment antiseptiques.

4° *Chaux* (CaO). — La chaux (oxyde de calcium) a été indiquée et essayée depuis longtemps comme remède contre la chlorose. Cette idée, au premier abord, peut paraître illogique et bizarre, puisque la chlorose est due à l'excès de calcaire et que la chaux en se carbonatant rapidement à l'air se transforme en calcaire.

En 1847, P. Anthelme a employé déjà la *chaux pulvérisée* sur les rameaux et les feuilles d'un Pêcher atteint de chlorose et de cloque ; quelques jours après il a appliqué, il est vrai, une pulvérisation de solution de sulfate de fer. Un mois après ce double traitement, l'arbre devint d'un beau vert et conserva ses fruits. Cependant, s'est demandé Anthelme : « Est-ce la chaux qui a agi ou bien le sulfate de fer, ou bien les deux ensemble? »

Quoi qu'il en soit, la chlorose était, dès 1850, ainsi que l'a rappelé récemment Meunier, combattue dans les Pouilles par l'application de chaux.

Dans l'Aude, ce procédé est usité également. P. Serres, notamment, a expérimenté à Talairan et recommandé l'emploi de la chaux contre la chlorose.

Lœw a admis l'action utile de la chaux, et, selon lui, une combinaison protoplasmique du calcium existerait dans les chloroleucites et les noyaux cellulaires.

La question est revenue récemment à l'ordre du jour. En 1893, au Congrès de Montpellier, Coste-Floret a indiqué l'action favorable de la chaux appliquée *au pied* des souches chlorosées. En 1898, il a pu, dans des terrains perméables, riches en carbonate de chaux et de magnésie, faire reverdir les souches jaunes par un enfouissement copieux de chaux hydratée. Ce procédé n'a donné aucun résultat dans les marnes compactes.

Pour quelques praticiens, l'action, dans la chlorose, de la bouillie bordelaise serait due, non au sulfate de cuivre, mais à la chaux. Tout récemment (1899), plusieurs viticulteurs distingués, notamment Gos dans le Var et Paroissien dans la Marne, ont obtenu de bons résultats par la chaux contre la chlorose. Degrully, De Malafosse, etc., ont recommandé aussi l'emploi de la chaux dans les Vignes chlorosées en sols non pas *simplement siliceux* (la chlorose ne s'y observe jamais), mais en sols *argilo-siliceux* compacts et froids. Ainsi donc, l'autorité des viticulteurs qui ont expérimenté cette méthode oblige, au moins dans certains cas, à admettre son efficacité. Aucune explication chimique convenable de cette action de la chaux dans la chlorose en sols calcaires n'a pu être fournie jusqu'ici. Pourtant, Coste-Floret (1898) pense que par la chaux déposée « en quantité suffisante au pied des souches, on arrive à fixer une partie de l'acide carbonique en excès dans le sol ». On sait que cet excès d'acide carbonique est une cause de chlorose ajoutée à l'action principale du calcaire. Tous les chimistes, en effet, savent que, lorsqu'on veut épuiser des eaux dures ou calcaires, on se sert de l'eau de chaux pour précipiter les bicarbonates qui rendent ces eaux non potables. Malheureusement, la chaux dans le sol se carbonate et devient alors nuisible.

L'effet de la chaux répandue sur la plante ne serait-il pas plutôt mécanique et ne pourrait-il pas être obtenu avec d'autres poudres ou vernis, si l'on admet que l'application de ces corps a pour résultat de recouvrir les ouvertures et les membranes perméables, et de ralentir ainsi l'excès d'émission d'eau si important dans le processus chlorotique ?

En effet, d'après les expériences de Dehérain et Maquenne, plus la feuille est riche en eau, plus elle absorbe aisément de l'acide carbonique. Or, un poudrage abondant diminue l'évaporation des feuilles, et, en conservant l'eau des tissus, augmente l'absorption de l'acide carbonique. D'autre part, en formant voile ou écran, les poudres appliquées sur les feuilles modèrent la lumière, régularisent la décomposition de l'acide carbonique, et empêchent l'altération de la chlorophylle par l'excès de lumière. Cette explication concorde avec l'observa-

tion que nous avons faite nous-même sur les Vignes et les arbres, à savoir que les feuilles inférieures ou centrales restent relativement vertes, alors que les feuilles supérieures et périphériques sont atteintes de chlorose intense. Il est bien entendu que, dans les arbres trop touffus, c'est l'inverse qui se produit : les feuilles du centre, trop à l'ombre, jaunissent par insuffisance de lumière et sont, en quelque sorte, aussi bien étiolées que chlorosées.

5° *Plâtre.* — Le plâtre constituerait, dans certains cas, un traitement contre la chlorose. En 1888, Chauzit et Touchaud-Verdier, puis Zacharewicz (1890-92), ainsi que Battanchon et Condeminal à Mâcon, etc., ont démontré ses bons effets sur la Vigne, lorsqu'il est adjoint aux autres principes fertilisants.

En 1892, Oberlin, en Alsace, a obtenu par le plâtre de merveilleux résultats dans les cas de chlorose légère. Il est probable que le plâtre agit simplement comme fortifiant, en rendant plus vite assimilables les principes fertilisants du sol (Coutagne).

6° *Potasse, Phosphates, Sels divers.* — La potasse, qui manque toujours dans les sols très chlorosants, doit être, selon certains auteurs (K. Libank, 1888, etc.), ajoutée à ces sols, pour guérir la chlorose. On peut la donner sous forme de sables granitiques et feldspathiques, de cendres de bois, de chlorure de potassium, etc.

Georges Ville, Lœw, J. Stroklasa, etc., ont attribué un rôle important aux phosphates dans la formation de la chlorophylle. Ces sels seraient peut-être, par conséquent, utiles contre la chlorose.

D'autres sels ont été proposés également.

7° *Traitements divers.* — Les produits les plus hétérogènes ont été tour à tour, selon les cas, proposés contre la chlorose : engrais plus ou moins complets, fumures énergiques, fumier consommé, terreau, cornaille, vieux cuir, associés aux engrais chimiques (Viviand-Morel, 1891) ; paillis préservateurs, eaux grasses fermentées, purin de vache, sang de boucherie, etc. (Willermoz, 1857 ; V. Morel, etc.). Nous ne les citons qu'à titre de documents.

APPENDICE

CHLOROSES CAUSÉES PAR LE SEL MARIN ET PAR LE MANQUE DE FER

La chlorose par manque de fer et la chlorose par le sel marin ont des symptômes et des caractères pour la plupart analogues à ceux de la chlorose par excès de calcaire, quoique cependant moins accusés.

— *Les chloroses par manque absolu de fer* ne peuvent guère être réalisées qu'expérimentalement ; dans la nature, en effet, il est très exceptionnel de se trouver en présence de sols rigoureusement privés de fer. Ces chloroses n'ont donc, selon nous, pas grand intérêt général, et nous ne nous en occuperons pas autrement.

— *La chlorose produite par le sel marin* sur les plantes terrestres est toujours, ainsi qu'il résulte des recherches de Lesage, etc., *très légère* et n'atteint jamais la gravité et l'intensité de la chlorose par excès de calcaire. Elle n'est donc comparable qu'à nos chloroses par calcaire aux 1er et 2^{e} degrés seulement. En comparant les recherches de P. Lesage avec nos observations personnelles, nous pouvons établir ainsi qu'il suit les principaux caractères différentiels entre la chlorose par calcaire et la chlorose par chlorure de sodium.

CHLOROSE EN SOLS CALCAIRES	CHLOROSE EN SOLS SALÉS
— Feuilles chlorosées ou non de même épaisseur, à peu près.	— Feuilles plus épaisses.
— Parenchyme en palissade, un peu réduit.	— Parenchyme en palissade très développé.
— La chlorophylle est très altérée et disparaît complètement.	— La chlorophylle diminue et s'altère, mais ne disparaît pas.
— Le degré de chlorose est proportionnel au taux du calcaire.	— Le degré de chlorose n'est pas proportionnel à la salure.
— La chlorose peut devenir intense.	— La chlorose est toujours faible.

L'étude même très minutieuse, faite par Lesage et par nous, de l'épiderme, de la paroi superficielle des cellules épidermiques, des nervures, des vaisseaux, des sécrétions, ne donne aucun caractère bien précis soit pour chaque chlorose en particulier, soit pour la comparaison des deux chloroses.

2° ÉTIOLESCENCE

TABESCENCE OU ÉTIOLEMENT

1° Définition. — L'*étiolescence* ou *tabescence*, ou *étiolement*, est une *décoloration* dystrophique générale, à marche centrifuge, accompagnée d'un *allongement exagéré* et d'une réduction en surface des organes aériens, et produite sous l'influence exclusive du défaut de lumière, sans rapport direct, par conséquent, avec le substratum géique.

En d'autres termes, l'étiolescence est la manifestation, le symptôme général, inévitable et unique, de l'arrêt de nutrition résultant du défaut d'assimilation chlorophyllienne par manque de lumière.

L'étiolescence est donc bien différente de la chlorose vraie ; elle est mortelle, si elle est prolongée.

Voici, d'autre part, la définition formulée par Arthur Gris en 1857 : « Nous appellerons étiolement l'état produit sur une plante normale qu'on soumet pendant un temps plus ou moins long à une respiration nocturne constante ». Cette définition est exacte, mais incomplète, car l'étiolescence peut être originelle et non acquise, dans le cas des graines qui ont germé à l'obscurité.

2° Végétaux atteints. — Toutes les plantes vertes tombent dans l'étiolescence lorsqu'on les oblige à végéter ou à germer à l'obscurité. Cependant, quelques plantes, très rares, ont la faculté de verdir sans lumière (embryons de certains Conifères, certains Nostocs, et quelques Algues sous-marines des grandes profondeurs).

3° Variétés. — L'étiolescence vraie est toujours semblable à elle-même, en ce sens qu'elle affecte la totalité des organes normalement verts, qu'elle se traduit par une coloration jaune très franche et qu'elle s'accompagne d'une élongation donnant aux appareils végétatifs un aspect anormal.

4° Étiologie. — Le défaut de lumière est la seule cause génératrice de l'étiolescence ou tabescence. Cette cause est

presque toujours accidentelle ou artificielle, et peut se réaliser par des procédés différents : le *buttage* des Céleris, l'*empaillage* des Chardons et des Bettes, l'*attachage* des Chicorées' Laitues Romaines, etc., l'*encavage* des Poireaux, etc., sont des opérations ayant toutes pour but d'obtenir des plantes étiolées, c'est-à-dire allongées, jaunies ou même blanchies (tiges et pétioles). Ces mêmes végétaux, développés complètement à l'obscurité, éprouvent, en outre, des modifications de forme beaucoup plus prononcées (Barbe de Capucin, etc.).

5° **Symptomatologie. Caractères morphologiques externes.** — 1° *Forme.* L'allongement, la gracilité extraordinaire, l'aspect étique, épuisé et tabescent des organes sont caractéristiques de l'étiolescence

Chez les Dicotylédones, les tiges et pétioles s'allongent outre mesure, mais les limbes restent rudimentaires.

Chez les Monocotylédones, les feuilles étant dépourvues de pétiole s'allongent démesurément, tout en restant plus étroites qu'à l'état normal ; en outre, ainsi que nous l'avons remarqué, l'extrémité des feuilles est souvent moins pointue, plus mousse et plus arrondie qu'à l'état normal.

2° *Coloration.* Les feuilles étiolées sont totalement jaunes, y compris les nervures ; les tiges et pétioles, toujours plus pauvres normalement en chlorophylle, deviennent même complètement blancs. Ces teintes jaunes ou blanches peuvent parfois ressembler parfaitement à la teinte des végétaux flavescents, mais elles sont produites, on le voit, par un processus absolument différent.

6° **Caractères morphologiques internes.** — Les feuilles étiolées sont remarquables par certains caractères spéciaux (Mer, J. Vesque, etc.). Le nombre des stomates est considérablement réduit ; les poils et accidents épidermiques sont peu développés ou absents ; les palissades sont peu nombreuses et rudimentaires ; la cuticule est extrêmement mince ; les éléments des faisceaux fibro-vasculaires (fibres libériennes, éléments ligneux) sont absents ou très réduits ; le parenchyme de la feuille et de l'écorce primaire des tiges et pétioles manque de

différenciation ; les membranes sont très minces et très extensibles, etc.

Quant à la chlorophylle, elle ne se forme qu'incomplètement à l'obscurité ; les grains qui prennent naissance sont peu nombreux, peu développés et seulement colorés en jaune par la xanthophylle. Les grains qui ont pu être déjà formés se décomposent, jaunissent et disparaissent.

7° **Caractères physiologiques.** — Les plantes qui peuvent verdir un peu à l'obscurité (Pin, Fougères, etc.) sont capables, d'après Ed. Griffon, d'assimiler quand on les expose à la lumière. Les plantes étiolées, mises en présence de la lumière, ne peuvent assimiler qu'après avoir verdi.

Le reverdissement des feuilles étiolées placées à la lumière dépend de la richesse du milieu en oxygène (Palladine, 1897) : il est rapide si l'oxygène est abondant, nul si l'oxygène est insuffisant.

En somme, les plantes plongées dans l'obscurité n'assimilent pas L'acide carbonique tend à s'accumuler dans les feuilles étiolescentes (J. Chareyre, etc.).

La respiration continue à s'effectuer à peu près normalement dans l'obscurité.

Les plantes étiolées ne transpirent pas suffisamment; cette transpiration insuffisante est la cause de l'allongement ou *étiolement de forme*, selon J. Vesque.

8° **Caractères chimiques.** — Les cellules étiolées ne contiennent jamais de cristaux (cystolithes, raphides, etc.).

Les feuilles étiolées de Dicotylédones sont moins riches en eau que les feuilles non étiolées. Chez les Monocotylédones (Blé, etc.), c'est l'inverse qui se produit.

Boussingault a remarqué depuis longtemps que la constitution chimique des tissus étiolés est très altérée et que la plante perd en poids, proportionnellement, une grande partie de ses éléments essentiels (sels minéraux, etc.).

9° **Pronostic.** — Les plantes peuvent, pour la plupart, continuer à végéter à l'obscurité si on leur fournit une riche alimentation.

Cependant, le plus ordinairement, l'étiolescence vraie et prolongée (à l'obscurité absolue) est mortelle.

10° **Traitement.** — Un seul : retour à la lumière.

3° SÉNILESCENCE

OU DÉPÉRISSEMENT, AUTOMNAL OU NON, ACCOMPAGNÉ OU NON DE JAUNISSEMENT OU DE ROUGISSEMENT

1° **Définition.** — La *sénilescence*, ou *dépérissement sénile* automnal ou non, suivie ou non de la chute des feuilles, se manifeste par la décoloration progressive, à marche centrifuge le plus souvent, aboutissant à la dessiccation et à la mort (teinte *feuille morte*), sous l'influence de la sénilité cellulaire et de l'arrêt périodique hivernal de l'activité fonctionnelle.

La sénilescence, ou dépérissement et mort des feuilles accompagnée ou non de leur chute, peut se produire, chez un certain nombre de plantes, en toute saison et n'affecter qu'une partie des feuilles du végétal.

2° **Plantes atteintes.** — Chez la plupart des Dicotylédones, les feuilles même persistantes (Houx, Buis, Conifères, *Ruscus*, etc.) ont une durée moindre que celle du reste de la plante, et par conséquent meurent de sénilité avant les tiges et les racines.

Chez beaucoup de Gymnospermes (Conifères), de Monocotylédones (Palmiers) et de Cryptogames vasculaires, au contraire, les feuilles durent autant que le reste de la plante, leur sénilescence marche de pair avec le dépérissement général du végétal.

3° **Variétés.** — Certaines feuilles passent directement et sans transition de la teinte verte à la teinte feuille morte. La plupart néanmoins (Platane, Peuplier, etc.) commencent par devenir d'un vert pâle, puis jaunes, puis feuille morte.

Beaucoup, également, brunissent (Hêtre, etc.), noircissent (Noyer, Monotropes, etc.) ou rougissent (Vigne-Vierge, etc.). Jamais, ainsi que l'a fait remarquer J. Chalon, une feuille ne rougit après avoir jauni.

4° **Etiologie.** — L'étiologie de la sénilescence est complexe. La feuille en bonnes conditions végétatives dure plus longtemps et ne dépérit que lentement. Ordinairement, la sénilité est précipitée par les perturbations atmosphériques (vents desséchants de l'automne, refroidissement atmosphérique, gelées, brouillards, pluies, humidité prolongée, etc.). Ces mauvaises conditions végétatives, en ralentissant l'absorption et l'assimilation, permettent au processus de la chute des feuilles de s'accomplir.

Quoi qu'il en soit, toute feuille est destinée à dépérir ; la sénilescence est inévitable.

5° **Symptomatologie. Caractères morphologiques externes.** — Le dépérissement sénile s'effectue ordinairement en deux temps : *a*, décoloration, rougissement, brunissement ou jaunissement progressifs des nervures et du limbe ; *b*, formation dans le pétiole d'un tissu intercepteur des sèves, qui détermine le dépérissement centrifuge et la mort (teinte *feuille morte*).

La chute des feuilles s'opère soit après le premier temps, soit seulement après le second.

Une feuille sénile, examinée au premier temps du dépérissement, présente donc : au centre, le long et autour des nervures, une teinte jaunâtre, puis isabelle ; puis, entre les nervures et sur les bords du limbe, des parties encore vertes et normales, ou bien rouges, comme c'est le cas pour beaucoup de végétaux (Vigne Vierge, Coudrier sanguin, etc.).

Quelques jours, ou parfois quelques heures plus tard, la même feuille, au deuxième temps du dépérissement, présente : au centre, le long et autour des nervures, une *zone de mortification*, de teinte feuille morte, et desséchée et cassante ; autour de cette zone mortifiée, un liséré jaune, partie altérée, mais encore vivante, ou *zone d'envahissement* ; enfin, quelques parties du limbe peuvent encore paraître vertes. Finalement, le limbe entier jaunit, brunit, se dessèche, se recroqueville et meurt. Rappelons que, dans la chlorose, la marche de la décoloration est, au contraire, le plus souvent centripète, les nervures demeurant vertes les dernières.

Ajoutons aussi que les feuilles persistantes rougissent et brunissent ordinairement en hiver (*Sempervivum*, *Sedum*, *Vaccinium*, *Buxus*, plusieurs Conifères, etc.).

Dans ce cas, le dépérissement n'est que partiel, peu accentué et momentané, c'est une sorte de simple ralentissement de la nutrition, et, si les conditions végétales ne sont pas trop pénibles, ces feuilles rougies ou brunies se revivifient au printemps suivant.

6° Caractères morphologiques internes. — Le rougissement automnal qui précède la mort et la chute de beaucoup de feuilles a attiré l'attention de très nombreux botanistes, notamment de Hugo de Mohl, Kraus, Haberlandt, Frank, Strasburger, Mer, Overton, etc.

Il n'y a pas, bien entendu, de changement dans la différenciation et l'agencement des tissus. Tout se passe dans des phénomènes de dégénérescence cellulaire, d'altération et disparition de la chlorophylle, et de formation de pigments nouveaux.

La teinte rouge automnale des feuilles de Cerisier, Vigne-Vierge (*Ampelopsis hederacea*), etc., est due au suc rose contenu dans les cellules du mésophylle, et non de l'épiderme. On ignore par quelles actions chimiques se forme la substance rouge. Pour Overton (1899), l'anthocyanine ou érythrophylle serait un glucoside résultant de la combinaison de sucres en excès avec les tanins du suc cellulaire.

1re phase : *Jaunissement et brunissement progressifs.*—La coloration jaune automnale provient des grains de chlorophylle qui, en se désorganisant, se colorent en jaune, comme l'a démontré Strasburger sur les feuilles de *Gincko biloba* et ainsi qu'il est facile de le constater dans toutes les espèces d'Érables, de Platanes, etc. La coloration brune automnale provient d'une coloration correspondante des membranes cellulaires, et surtout du contenu (Strasburger), ainsi qu'on peut le constater aisément dans les feuilles de Chêne.

2e phase : *Mortification et chute.*— La mortification qui suit la décoloration est, soit précédée, soit accompagnée, soit souvent aussi, suivie de la chute de la feuille. Cette mortification résulte

en effet, de l'arrêt de l'apport de la sève brute, par formation tardive d'un méristème séparateur, cassant et fragile, interrompant les tissus au niveau de l'articulation à la base du pétiole primaire (Fougères et nombreuses Phanérogames) ou à la base des folioles des feuilles composées (Robinier, etc.). La cicatrice est fermée, bien après la chute, par une couche de liège (cas normal) ou encore par la simple dessiccation des cellules superficielles (Fougères).

Pendant la marche de l'altération cellulaire, on voit les cellules du pétiole et du limbe perdre leurs substances de réserve ; bientôt, elles ne contiennent plus que des traces d'amidon ; le tanin s'accumule dans les cellules du parenchyme libéro-ligneux; les cristaux calciques se déposent, nombreux, dans les cellules ; le protoplasme, le noyau, les chloroleucites se désagrègent progressivement ; ces derniers se décomposent, à peu près comme dans la chlorose, en grumeaux et en globules jaunes et brillants (Sachs, Strasburger, etc.), qui donnent à la feuille la teinte jaune momentanée.

Chez la Vigne-Vierge, il n'y a plus de chloroleucites lorsque la feuille tombe (Griffon, etc.), mais cette disparition de la chlorophylle est indépendante du rougissement qui se produit dans le suc cellulaire. Dans les feuilles persistantes brunies en hiver sous l'action du froid, la chlorophylle se transforme probablement en chlorophyllane ; la xanthophylle n'est pas altérée et persiste.

7° Caractères physiologiques.— Le dépérissement sénile est une sorte de ralentissement progressif de tous les actes nutritifs. L'assimilation chlorophyllienne, la respiration, la transpiration, la chlorovaporisation, la sécrétion, etc., diminuent peu à peu et finalement s'arrêtent. Les cellules dégénérées meurent et se dessèchent.

8° Caractères chimiques.— Comme dans la chlorose, le ralentissement de la nutrition dans le dépérissement sénile a pour résultat d'accumuler (analyses de Berthier, Fliche, etc,) dans les feuilles les matières minérales (chaux, silice, magnésie, potasse, etc.).

La feuille, au moment de sa mort, est composée en grande partie de matières minérales (cendres).

Les observations de Malaguti, Durocher, Zœller, etc , ont toutes démontré que les vieilles feuilles sont extrêmement riches en silice et en sels calciques.

9° Pronostic. — Le dépérissement sénile des feuilles, qu'il soit automnal ou non, est toujours progressif, et mortel, quelles que soient les bonnes conditions végétatives extérieures.

10° Traitement.— Aucun. Cependant pour les plantes vivaces, si l'on veut éviter le brunissement et la chute de quelques feuilles, il est bon de les placer en hiver dans un lieu abrité.

4° VARIESCENCE ou PANACHURE

1° Définition. — La *variescence* ou *panachure* est une altération dystrophique de la coloration des feuilles, totale ou partielle, à marche irrégulière, toujours suffisamment bénigne pour permettre à la plante de continuer son évolution. Les taches discolores des feuilles panachées sont toujours à contours bien nets, et non fondus et estompés comme dans la chlorose et la sénilescence.

2° Végétaux atteints. — Il n'y a pas, sauf de rares exceptions, de végétaux panachés dans la flore spontanée. Les Phanérogames seules paraissent aptes à la panachure qui est recherchée et obtenue presque exclusivement sur les végétaux (arbres, arbustes ou herbes) d'ornement et non fruitiers.

3° Variétés. — Il y a de nombreuses variétés de panachure. Une plante donnée ne se panache pas toujours de la même façon ni avec la même intensité. Pour notre description sommaire, nous ramènerons ces variétés à *sept* principales :

a. **Variescence proprement dite** ou *panachure proprement dite* (*varietas folia varigatæ*), ou *variégation*). Caractérisée par des zones, bandes ou taches de nuances variant du vert sombre au jaune clair et blanchâtre.

Exemples : Certaines variétés d'*Aucuba*, de Primevères, de Fusain du Japon, d'Érable, etc., etc.

Le *Phalaris arundinacea* var. *fol. varieg.* est l'exemple classique.

Outre ces plantes, on peut citer parmi les espèces présentant souvent des feuilles variescentes : *Acorus gramineus*, *Ægopodium podagraria*, *Agapanthus umbellatus*, *Agave americana*, *Althœa syriaca*, *Alyssum saxatile*, *Arabis albida*, *Arundo mauritanica*, *Aspidistra elatior*, *Calamagrostis arundinacea*, *Carex japonica*, *Chrysanthemum indicum*, *Convallaria maïalis*, *Farfugium grande*, *Fragaria chiloensis*, divers *Fuchsia* et *Funkia*, divers *Hedera*, *Hemerocallis fulva*, divers *Hydrangea*, *Iris fœtidissima*, *Ligustrum japonicum*, *Molinia cœrulea*, divers *Mentha*, *Myrtus communis*, *Nerium oleander*, *Nicotiana colossea*, *Orontium japonicum*, *Pachysandra procumbens*, *Phormium tenax*, *Ranunculus repens*, *Ruta graveolens*, *Salvia officinalis*, *Saxifraga granulata*, *Sedum Telephium*, *Solanum Dulcamara*, *Spiræa Ulmaria*, *Symphytum officinale*, *Tanacetum vulgare*, divers *Thymus*, *Veronica Andersonii* et variétés, *Vinca major* et *minor*, *Viola odorata*, *Weigelia amabilis*, *Yucca aloœfolia*, etc., etc.

b. Aurescence. Feuilles uniformément ou partiellement d'un jaune doré ou franc

Exemples : Certaines variétés d'*Aucuba*, de Fusain du Japon, *Sambucus nigra* var. *aurea*, *Negundo fraxinofolium* var. *aureum*, etc.

c. Albescence. Feuilles zonées ou tachées de blanc pur, ces taches sont dues à l'absence complète de chromatophores dans les cellules.

Exemples : Certains *Phalaris*, *Arum*, cert. Renoncules et Ficaires, Maïs du Japon, *Richardia*, etc.

Certaines feuilles citées plus haut comme variescentes peuvent présenter des parties blanchâtres.

Il y a donc toutes les formes de passage entre les feuilles variescentes ou panachées (du vert foncé aux vert et jaune blanchâtres) et les feuilles albescentes (albinisme ou couleur d'un blanc pur). L'albescence vraie (blanc pur) s'observe peu sur les feuilles bien constituées, si ce n'est chez de rares

espèces, comme celles citées plus haut, et chez quelques *Caladium* et autres espèces de serre chaude, où elle se montre sous forme de taches, macules, ponctuations, lisérés, etc. A part ces quelques cas typiques, le blanc s'associe très souvent au jaune pour panacher accidentellement les feuilles des variétés panachées qu'on cultive après les avoir fixées.

d. **Argyrescence.** Feuilles à zones ou taches argentées, produites par l'interposition d'une couche d'air sous-épidermique.

Exemples : Certains *Richardia*, *Begonia rex*, *B. argyrostigma*, *Tradescantia zebrina*, *Lamium maculatum*, *Sonerilla margaritacea*, *Silybum maculatum* ou Chardon-Marie, etc.

Il importe de ne pas confondre avec la fausse panachure argentée produite par des poils chez de nombreuses plantes, telles que les Potentilles argentine et ansérine, *Verbascum*, *Cerastium*, *Gnaphalium*, *Centaurea argentea*, etc. La présence des poils serrés et courts produit quelquefois aussi la *glaucescence*, surtout à la face inférieure des feuilles.

e. **Rubescence.** Feuilles dont la teinte verte est remplacée ou masquée, totalement ou partiellement, mais à l'état chronique, par un pigment rouge.

Exemples : Certains *Caladium*, Betteraves, Balisier, quelques espèces de *Dracæna*, de *Croton*, de *Begonia*, etc., certains Choux, *Fagus silvatica* var. *purpurea*, *F. silv.* var. *cuprea*, *Betula alba* var. *foliis purpureis*, *Acer pseudo-platanus* var. *purpurea*, *Corylus*, etc.

Certaines feuilles rougissent au printemps seulement (quelques Rosiers, notamment les Roses thé ; Chêne, certaines Pivoines).

Rosa rubrifolia conserve ses feuilles rouges toute l'année, mais avec cette teinte un peu atténuée. Accidentellement, la rubescence accompagne la panachure de quelques espèces, comme les Sauges (*S. officinalis*), les Bugles (*Ajuga reptans*), le *Yucca quadricolor* (*Y. aloifolia*), le Lierre terrestre (*Glechoma hederacea*), la Saxifrage sarmenteuse, etc. Quelques plantes de serre chaude ont leur face inférieure rubescente, et

même pourpre foncé noirâtre, tandis que leur face supérieure reste verte.

f. Nigrescence. Feuilles présentant des taches, des macules unicolores, brunes ou noirâtres. Cette apparence noire ou brune résulte souvent de la simple superposition du rouge et du vert foncés, car le noir pur n'existe pas en réalité chez les Phanérogames.

Exemples : Certains *Aucuba*, *Arum maculatum*, plusieurs *Pulmonaria*, *Orchis*, Pelargonium, *Begonia*, etc., et de nombreuses Borraginacées et Composées.

g. Pluricolorescence. Feuilles présentant des zones, taches ou macules de diverses couleurs autres que le vert et le jaune

Exemples : Nombreuses plantes d'ornement (Begonias, Betteraves, *Pelargonium*, etc.).

4° Etiologie. — L'étiologie des panachures est encore très obscure. On sait seulement qu'elles se produisent sous l'influence d'accidents ou de procédés de culture involontaires ou non. La qualité du substratum (excès de matières azotées, absence de calcaire, etc.) ou des engrais surajoutés (excès ou absence d'un sel, mélanges spéciaux, etc.), a peut être aussi une influence, encore presque inconnue, dans la production de la panachure. Les variétés panachées une fois obtenues, on cherche à les perpétuer par la greffe, le bouturage et tous les procédés de multiplication sélectionnée. Il suffit ordinairement de greffer un individu panaché par un sujet sain pour voir celui-ci se panacher à son tour au bout de quelque temps (Meyen, Morren, Bouché, von Lindemuth, J. Chalon, etc.).

Le semis amène ordinairement l'atavisme.

Selon Morren, Jubainville et Vesque (1878), etc., la panachure ou variescence serait héréditaire.

Pour Zimmermann (1890), la panachure se propagerait uniquement par greffage, et jamais par hérédité.

Viviand-Morel (1896), qui range les panachures dans sa catégorie des chloroses constitutionnelles, a pensé que ces panachures ont leur germe dans la graine, lorsque cette graine a été prise, soit sur des plantes plus ou moins panachées, soi

sur des plantes non panachées mais chlorosées, soit sur certaines plantes à graines mal mûres, soit encore lorsque cette graine est trop vieille. Cependant, des graines de sujets panachés peuvent donner, soit des sujets non panachés (*Hedera helix*), soit des sujets panachés et des sujets sains (Maïs, Barbarée vulgaire, Renouée d'Orient, Lavatère en arbre, etc.), soit enfin des individus verts et des individus blancs (Fraisier, *Euphorbia lathyris*, Primevère de Chine, Tabac, etc.) ; mais lorsque les graines donnent ainsi des individus complètement blancs, ils ne vivent pas facilement et périssent toujours jeunes. Les variescences ou panachures vraies les plus solides, les plus fixes, se reproduisant donc le plus facilement par le semis, sont celles qui se présentent sous forme de lisérés ou zones marginales, plus ou moins larges et souvent très irréguliers.

5° **Symptomatologie. Caractères morphologiques externes.** — Les caractères morphologiques externes sont suffisamment, quoique très brièvement, précisés et indiqués dans la nomenclature ci-dessus donnée des sept principales variétés, pour nous dispenser de toute explication complémentaire.

Par suite de la dystrophie, très faible il est vrai, mais néanmoins suffisante, les plantes à feuilles panachées ne portent pas de fleurs doubles.

6° **Caractères morphologiques internes.** — Rien de particulier dans la différenciation des tissus, sauf pour l'argyrescence ou panachure argentée. Ed. Morren (1868) a nommé *argyrescence* la panachure produite par l'interposition d'une couche d'air entre le mésophylle et l'épiderme soulevé par places. C'est dans le contenu des cellules que l'on trouve les caractères des panachures.

Dans les feuilles rouges, brunes, noires ou multicolores, c'est le suc cellulaire qui est coloré par un pigment surajouté et qui masque les chloroleucites, lesquels existent encore ordinairement. Dans les feuilles argyrescentes, les chloroleucites sont même parfois très abondants, mais sont masqués par l'air sous-épidermique.

Dans les variescences vertes et jaunes (panachure simple

proprement dite), ce sont bien, toutefois, les chloroleucites qui sont plus ou moins altérés.

Certaines feuilles panachées (Fusain du Japon, etc.), vues par la face supérieure, présentent trois teintes bien tranchées : α, des taches d'un vert foncé, à cellules palissadiques gorgées de chlorophylle ; β, des taches d'un vert pâle, produites parce que la chlorophylle a presque disparu des palissades, mais existe encore dans les cellules du tissu lacuneux et se voit alors comme voilée par transparence ; γ, enfin, les bords de la feuille sont jaunes, parce que la xanthophylle seule colore les leucites.

Il y a donc, dans les feuilles panachées ordinaires, des régions bien ou peu pourvues de chlorophylle, des régions privées de chlorophylle, mais pourvues de xanthophylle, et enfin des régions d'un jaune-blanchâtre, presque complètement dépourvues de chlorophylle et de xanthophylle.

Dans les feuilles aurescentes, il y a quelquefois, avec la xanthophylle, un peu de chlorophylle normale. Ces feuilles dorées doivent être rapprochées des feuilles étiolées (Griffon), notamment des étiolements de couleur et non de forme (liage des Salades, Céleris, Cardons, etc.).

Zimmermann (1890) a observé que, dans les feuilles panachées, les chromatophores existent en plus grand nombre qu'on ne l'avait cru avant lui. Ils ne sont entièrement détruits que dans les parties vieilles et complètement blanches des feuilles. Ces chromatophores ont des tailles et des teintes variables ; d'où les divers degrés de panachure et d'albinisme (albescence) ; il y a aussi, dans certaines feuilles, des chromatophores lenticulaires et incolores, contenant souvent des vacuoles.

Dans les feuilles albescentes, les chloroleucites ont disparu complètement des parties blanches.

Dans les feuilles argyrescentes, les chromatophores sont à peu près normaux, quoique souvent moins abondants et moins gros.

7° Caractères physiologiques. — Sapoznikow (1893) a constaté que les feuilles panachées, placées sur une solution sucrée, forment de l'amidon aussi énergiquement dans les parties blanches que dans les parties vertes.

Quant à la fonction chlorophyllienne, elle subit, selon les cas, des variations importantes et intéressantes.

De Saussure, Engelmann, Cailletet, Bonnier et Mangin, etc., ont établi que dans les plantes manifestement panachées, l'assimilation est nulle, bien que les leucites existent encore, quoique réduits.

Les feuilles aurescentes ou panachées dorées ne dégagent pas d'oxygène à la lumière ; elles se comportent en cela comme les feuilles étiolées, dont elles se rapprochent par la couleur, et comme les feuilles panachées ordinaires. La xanthophylle ne paraît donc pas douée du pouvoir assimilateur (Griffon).

Par contre, le décollement de l'épiderme des feuilles argyrescentes n'exerce, selon Griffon, aucune influence sur l'énergie assimilatrice (*Lamium maculatum*, *Begonia rex*).

Les feuilles rubescentes et nigrescentes s'accroissent beaucoup moins vite et ont une énergie assimilatrice plus faible que les feuilles vertes correspondantes. Cependant, l'anthocyanine paraît n'exercer aucune influence sensible sur l'assimilation chlorophyllienne (Griffon).

8° Caractères chimiques. — Selon Church (1880), les feuilles blanches renferment beaucoup plus de potasse et beaucoup moins de chaux que les feuilles vertes normales.

9° Pronostic. — Il semble que les panachures aient pour effet de ralentir les fonctions des plantes et de rendre leur vie plus lente et plus uniforme. Les variétés panachées, en effet, ont une évolution générale plus lente que leurs types verts; mais elles vivent fort bien, et en aucun cas, ne souffrent gravement de leur état si bizarre et encore imparfaitement connu.

10° Traitement. — Aucun, puisqu'au contraire, la variescence est souvent recherchée et entretenue à dessein par les arboriculteurs et horticulteurs. On a pourtant observé que dans les sols et composts non calcaires, beaucoup de plantes panachées reprennent leur couleur verte normale.

5° PUMILESCENCE ou NANISME

1° **Définition.** — La *pumilescence* ou *nanisme* est un avortement général, une atrophie, un défaut de développement des plantes et notamment de leurs feuilles, *sans décoloration sensible et générale*; cet état dystrophique est engendré par l'insuffisance qualitative et quantitative du substratum nourricier.

2° **Végétaux atteints.** — Beaucoup de plantes cultivées dans de mauvaises conditions, dans des sols trop pauvres, dans des pots trop petits, etc., restent naines.

3° **Variétés.** — Le nanisme comporte deux variétés : nanisme constitutionnel ou originel et nanisme provoqué ou acquis (P. Gauchery).

4° **Etiologie.** — L'exiguïté et la pauvreté du substratum, et, quoique rarement, les mutilations graves et répétées, sont les seules causes du nanisme. L'excès du calcaire ou d'un sel quelconque dans le sol n'amène pas le nanisme vrai, mais plutôt la chlorose.

Quelque chétives et malingres qu'elles soient, les plantes *naines demeurent toujours vertes*, à moins de circonstances spéciales et surajoutées. Il n'est donc pas possible de confondre la pumilescence avec les altérations trophiques précédentes.

5° **Caractères morphologiques externes.** — Tous les organes, et notamment les feuilles, restent petits, rudimentaires, à accroissement extrêmement lent. Tige moins ramifiée ; entre-nœuds plus courts et moins nombreux (P. Gauchery, *Ann. Sc. nat.* 1899). Feuilles non seulement plus petites et plus rares, mais à dents et incisures moins marquées.

6° **Caractères morphologiques internes.** — Les tissus sont sclérosés (P. Gauchery), le système vasculo-ligneux se lignifie rapidement. Les plantes cultivées dans l'eau distillée (Voy. Bœhm, Dassonville, etc.) se rapprochent un peu des plantes pumilescentes.

7° Caractères physiologiques. — Rien de bien particulier.

8° Caractères chimiques.— Rien de particulier.

9° Pronostic. — La vie des plantes naines est délicate et courte.

10° Traitement. — Changement et enrichissement nutritif du substratum.

CHAPITRE SEPTIÈME

CONCLUSIONS GÉNÉRALES

Les études que nous venons d'exposer sur la chlorose végétale, considérée soit en elle-même, soit dans ses rapports avec le sol et dans ses différences avec les diverses altérations trophiques des feuilles, auront pour résultat, nous l'espérons, d'avoir *mis en ordre* et *au point* ces questions si importantes et si controversées.

Nos recherches personnelles ont porté principalement :

1° Sur la production expérimentale de la chlorose chez les plantes silicicoles de la flore spontanée, cultivées en sols calcaires.

2° Sur les caractères morphologiques externes des différents aspects et degrés de chlorose.

3° Sur l'étude morphologique interne des organes chlorotiques, feuilles, tiges et racines.

4° Sur le processus et les phénomènes physiologiques de la chlorose.

5° Sur la critique des diverses causes indiquées comme génératrices et modificatrices de la chlorose.

6° Enfin sur le diagnostic comparatif de la chlorose et des altérations trophiques des feuilles.

Nous n'avons point, cela va sans dire, la naïveté ou la prétention de croire que nous avons épuisé complètement le sujet : bien au contraire, nos recherches en exigent, en appellent de nouvelles, plus intimes et plus précises encore, surtout au point de vue chimique. Ce sujet, en effet, comme toutes les grandes questions de physiologie et de chimie biologique, est de ceux qui sont inépuisables. Dans ces sciences biologi-

ques, le champ ouvert aux investigations des savants restera toujours vaste.

« Les végétaux, disait déjà Lavoisier il y a un siècle (1), puisent dans l'air qui les environne, dans l'eau et en général dans le règne minéral, les matériaux nécessaires à leur organisation. Les animaux se nourrissent ou de végétaux ou d'autres animaux qui ont été eux-mêmes nourris de végétaux, en sorte que les matières qui les forment sont toujours, en dernier résultat, tirées de l'air ou du règne minéral. Enfin, la fermentation, la putréfraction et la combustion rendent perpétuellement à l'air de l'atmosphère et au règne minéral les principes que les végétaux et les animaux en ont empruntés. Par quels procédés la nature opère-t-elle cette merveilleuse circulation entre les deux règnes ?... Ce sont des mystères impénétrables ».

Un siècle s'est écoulé, et le problème si magistralement précisé par le créateur de la chimie n'est point encore résolu !

Nombreuses, innombrables même, sont pourtant les intelligences qui ont dirigé leurs efforts sur les phénomènes physiologiques et biologiques en général.

Knop, Liebenberg, Nobbe, Péligot, Kohl, Lupke, Kreuzhaye, Bœhm, Dehérain et Bréal, Georges Ville, Schrœder, Wolff, Raulin, Schimper, Erdmann, Bokorny, Lœw, J. Vesque, Dworzak, Grandeau, Heinrich, Demoussy, Dassonville et une foule d'autres savants ont étudié l'absorption et l'assimilation des sels minéraux par les plantes.

Priestley, De Saussure, Cloer et Gratiolet, Brongniart, Liebig, Boussingault, Sachs, Engelmann, Bonnier et Mangin, Griffon, etc., etc., ont étudié l'assimilation par les végétaux du carbone de l'acide carbonique de l'air.

Boussingault, Pétermann, Meyen, E. Laurent, Acton, Bokorny, Hansteen, J. Laurent, Mazé, Dehérain, et beaucoup d'autres ont porté leurs efforts sur l'assimilabilité et l'absorption du carbone des matières organiques.

Liebig, Boussingault, Schlœsing, Müntz, Winogradsky, Mazé,

(1) Dans un travail inédit, mis au jour par J. Dumas dans ses leçons faites à la Société chimique de Paris.

etc., ont montré que l'azote, combiné sous toutes ses formes, peut contribuer à la nutrition végétale.

Soupçonnées par Boussingault, étudiées et précisées par Schlœsing, Lawes et Gilbert, Georges Ville, Pugh, Müntz, Berthelot, Hellriegel, Willfarth, Laurent, Prazmowsky, Beyerinck, Kossowitch, Mazé, etc., l'assimilation et la fixation de l'azote libre gazeux par l'intermédiaire des microorganismes sont aujourd'hui démontrées

Sachs, Péligot, Sotsmann, Kayser, Bayer, Aimé Girard, Bach, Godlewsky, Pfeffer, A. Meyer, Schimper, Brown et Morris, Belzung, ont étudié l'élaboration des hydrates de carbone dans les feuilles, sous l'influence de ferments diastasiques dont les principaux sont : l'amylase, décrite par Schimper, Vines, Prunet, Brown et Morris ; la sucrase (Brown et Morris) ; la maltase, la pectase, etc.

Sachs, De Luca, Müntz, Gerber, Hœckel, Bouchard, Maquenne, et autres, ont montré que l'origine, la formation et la destination des matières grasses sont multiples et complexes.

Franck, Schimper, Molisch, Schultze, Kreusler, Boussingault, Berthelot et André, Heckel, Landstrœm, Pagnoul, Müntz, Bach, Kinoshita, Hansteen, Godlewsky, Laurent, Maréchal et Carpiaux, Mazé, Borodin, Pfeffer, O. Müller, Monteverde, Prianischnikow, O. Lœw, A. Gautier, Guignard, Treub, etc., ont étudié les matières protéiques végétales et montré que, dans leur formation, de nombreux corps, notamment l'asparagine et l'acide cyanhydrique, se constituent qui jouent un rôle important.

Les travaux sur le rôle des ferments et des infiniment petits dans la transformation régressive des matières organiques végétales en matières minérales (putréfaction et décomposition) sont innombrables. Les noms de Liebig, Claude Bernard, Winogradsky, Dehérain et Maquenne, Calmette, Müntz, Gayon, Van Tieghem, Duclaux, Laurent, sont pris au hasard et devraient être accompagnés de beaucoup d'autres, que domine et dominera toujours celui de notre immortel Pasteur. Dans l'esprit de « Lavoisier, dit Mazé, ces deux mots (fermentation et putréfaction) ne correspondaient à aucune notion précise.

Pasteur a montré qu'ils cachent tout un monde nouveau : le monde des infiniment petits. Il a fait voir que ce sont eux les agents actifs de la dégradation de la matière organique ; par leur intermédiaire, toutes les substances fermentescibles confiées à la terre se minéralisent ou se gazéifient, et reprennent l'état sous lequel les végétaux les avaient absorbés ».

Eh bien, malgré les magnifiques travaux des savants dont nous venons de rappeler les noms, le *problème de* Lavoisier est encore irrésolu. « Malheureusement, ajoute Mazé (1) à ce sujet, on ne sait rien ou presque rien de la constitution des matières protéiques : ignorant la composition de leur molécule, il est impossible de saisir le mécanisme des transformations dont elles sont le siège. Force est donc de s'en tenir en quelque sorte aux phénomènes extérieurs, de faire le bilan de la nutrition végétale et animale, et d'examiner les modifications que les infiniment petits font subir à la matière fermentescible...».

Mais, du moins, les résultats acquis par le XIX^{e} siècle, qui tombe dans le domaine de l'histoire, sont importants et ne sont qu'incomplets.

Le XX^{e} siècle, dans lequel nous entrons, verra, nous en sommes convaincu, sous les efforts réunis des sciences physiologiques appuyées et guidées par la chimie biologique, s'illuminer la nuit dans laquelle sont encore plongées les relations intimes unissant la Vie et la Matière !

---

(1) P. Mazé. *Évolution du carbone et de l'azote dans le monde vivant* (*Scientia*, 1899).

E. Fleurent. *Recherches sur la constitution des matières albuminoïdes extraites de l'organisme végétal* (Paris, 1896). Etc.

Vu et approuvé :
Besançon, le 23 décembre 1899.
Le Doyen de la Faculté des Sciences,
L. BOUTROUX.

Vu et permis d'imprimer :
Besançon, le 26 décembre 1899.
Le Recteur,
Ch. LARONZE.

ERRATA ET ADDENDA

P. 14, ligne 1, ajouter : et de DEHÉRAIN sur le Tabac.

P. 17, ajouter au renvoi : VIOLETTE et ARCHAMBAULT. *Dictionnaire des Analyses chimiques*, 1851. Cet ouvrage contient de très nombreuses analyses de cendres végétales.

P. 18, ligne 1, après Betterave ajouter : *les Conferves.*

P. 81. A 306. SCHIMPER, ajouter : *Ueber Schutzmittel des Laubes gegen Transpiration vornehmlich in der Flora Java's. Monatsberichte der Berliner Akademie.* Juli, 1890.

P. 83, ligne 1, ajouter : *tome II, p. 490.*

P. 89, ligne 3, ajouter : V, *der Boden*, p. 127-131. Dans cet ouvrage se trouve exposée aussi (p. 96-118) la question de l'influence chimique du sol.

P. 145, dernière ligne, au lieu de JUNGHERHN, lire JUNGHUHN.

P. 145, ligne 2, au lieu de LUERSEN, lire LURSSEN.

P. 145, ligne 28, au lieu de ROSENBERGER, lire ROSENBERG.

P. 218. Rectifier et compléter le tableau résumé de la classification du Dr A. Magnin, par le tableau suivant, plus complet et plus conforme aux idées de l'auteur :

		Halophiles exclusives	*Préférentes* ou *Indifférentes* (suivant les régions, stations, etc.)	*Halophobes*
1	Na	Natrophiles (Halophiles).	Natricoles (Salicoles).	Natrophobes (Salifuges).
2	Co^3Ca	Calcariphiles.	Calcaricoles.	Calcarifuges.
3	K	Kaliphiles.	Kalicoles.	Kalifuges ??
4	Az	Nitriphiles.	Nitricoles.	?
5	Alun.	Aluniphiles.	Alunicoles.	?
6	Si.	Siliciphiles ?	Silicicoles.	
7	Mg.	Serpentiniphiles.	Serpentinicoles.	
8	Zn.	Calaminariphiles.	Calaminaricoles.	
9	S	Sulfuriphiles.	Sulfuricoles.	Sulfurifuges.
10	Cu	Cupriphiles.	Cupricoles.	Cuprifuges.
11	Fe	Sidérophiles.	Ferricoles.	Ferrifuges ?
12			Dolomiticoles (1).	
13			Gypsicoles.	
14			Talcicoles.	
15		Humiphiles.	Humicoles, Torficoles, etc.	Humifuges.
16		Biotiphiles (Parasites).	Bioticoles (Parasites).	

(1) Signifiant simplement : qui peuvent se trouver sur la dolomie ; mais il n'y a pas de dolomitophiles, etc.

P. 226. Pour être plus exact, remplacer, aux paragraphes 2° et 4°, *calcaire* par *chaux vive*.

P. 228. Remplacer la phrase: *D'après* DEHÉRAIN, etc. (lignes 24 à 27) par l'alinéa suivant:

M. DEHÉRAIN, dit MUNTZ (*les Engrais*), a donné l'explication de quelques-uns des bons effets du plâtrage, en montrant qu'une plus grande quantité de potasse est absorbée sous son influence par les plantes. Ce savant admet que le sulfate de chaux dissous par l'eau agit sur le carbonate de potasse fixé sur les particules terreuses. Une double décomposition donne naissance à du CO^3Ca et à du sulfate de potasse; ce dernier, étant moins retenu par le pouvoir absorbant, peut descendre dans le sous-sol et se diffuser ainsi davantage dans la masse terreuse; les racines des Légumineuses, s'enfonçant à de grandes profondeurs, rencontrent de la potasse sur tout leur parcours, et peuvent en tirer profit.

P. 325. Le mot *Phyllobium* n'a pour nous qu'un sens général, signifiant *microorganismes qui vivent dans les feuilles*, et n'a pas la valeur précise d'un nom de genre ou d'espèce. D'autre part, comme ce mot a déjà été employé pour désigner une Algue siphonée, nous pouvons le modifier: *Phyllomicrobium*, par exemple.

P. 352. A l'énoncé des groupes de ferments, nous aurions pu ajouter les *oxydases* (laccase, etc.), groupe de ferments solubles, capables de fixer l'oxygène, et étudiés récemment par M. Bertrand.

Complément à nos listes de travaux cités dans nos Revues historiques

1° Complément à la Revue historique de l'influence du sol

627 1852 JUNGHUHN. – *Java,* etc., *deutsch. v. Hasskarl.* 1852, Bd. I, 453 (*Fumarolen*).

628 1859 J. SACHS. — *Ueber den Einfluss der chemischen und physikalischen Beschaffenheit des Boden of die Transpiration der Pflanzen. Landw. Versuchstationen 1859, u. gesammelte Abhandl.* Bd. I, 417.

629 1865 J. SACHS. — *Handbuch der Experimentalphysiologie der Pflanzen.* Leipzig, 1865. (Influence de la calamine).

630 1865 WIRTGEN. — *Une petite excursion dans les terrains*

calaminaires de la Vieille-Montagne. (Extr. du Bull. de la Soc. roy. de bot. de Belgique). Vol. IV, 1865.

631 1868 Milde.— *Filices criticæ : Aspl. adulterinum* (Bot. Zeit.) 1868. (Influence dé la serpentine).

632 1869 Pfeffer.— *Bryogeographische Studen a. d. Rhœtischen Alpen* (*Chur*, 1869).

633 1872 Sadebeck. — *Ueber Aspl. adulterinum* (*Verhandl. des botan. Vereins für die Prov. Brandenburg*) Bd. XIII, 1872. (Influence de la calamine).

634 1875 Hoffmann. — *Bot. Zeit.*, 1875. (Influence de la calamine).

635 1876 Burgestein. — *Einfluss ausserer Bedingungen auf die Transpiration.* Wien, 1876.

636 1877 Hoffmann. — *Untersuchungen über Variation* (Bot. Zeit.) 1877. (Influence de la calamine).

637 1878 A. Jeanjean.— *Les amendements et les engrais minéraux appliqués au sol des Cévennes*, 1878.

638 1878 J. Vesque. — *De l'influence des matières salines sur l'absorption de l'eau par les racines* (*Ann. sc. nat. bot.*, 6e sér., t. IX, 1878).

639 1885 Baumann. — *Das Verhalten von Zinksalzen gegen Pflanzen und im Boden* (*Landw. Versuchsstationen*) Bd. 31, 1885.

640 1885 Heinrich. — *Die Zusammensetzung der Asche der oberirdischen Theile von* Chrysanthemum segetum. *Landw. Annalen des Mecklenburg.— Patriot. Vereins. Jahrg.* XXIV, 1885.

641 1886 Timbal-Lagrave, Malinvaud, etc. — *Sur quelques plantes de l'Aveyron* (*Bull. Soc. bot. de France*, 1886 ; session extraord. à Millau, p. XV).

642 1886 Ivolas. — *Les plantes calcicoles et calcifuges de l'Aveyron* (*Bull. Soc. bot. de France*, 1886).

643 1886 Dr A. Magnin. — *Sur les causes de la présence de plantes réputées calcifuges dans la région calcaire du Jura* (*C. R. Acad. des Sc.* et *Bull. Soc. bot. de France*, 1886).

644 1887 Battandier. — *Quelques mots sur les causes de la localisation des espèces d'une région.* (*Bull. Soc. bot. de France*, t. XXXIV, 1887).

645 1887 Sadebeck. — *Ueber die generationsweise fortgesetzen Aussaaten und Culturen der Serpentinformen der Farngattung Asplenium* (*Berichte über die Sitzungen der Geselschaft für Botanik in Hamburg*) III Heft, p. 4, 1887.

646 1888 A. Schultz. — *Die Vegetationsverhaltnisse der Umgebung von Halle.* Halle, 1888.

647 1889 Lurssen. — *Die Farnpflanzen oder Gefasskryptogamen* (*Rebenhorst's Kryptogamen-Flora.* Bd. III). Leipzig, 1889. (Influence de la serpentine).

648 1891 O. Richard. — *Note au sujet des voies romaines* (*Bull. de la Soc. des Antiq. de l'Ouest*). Poitiers, 1891. (Influence du calcaire)..

649 1891 Schimper. — *Die indomalayische Strandflora.* Iéna, 1891. (Influence du sel marin).

650 1891 H. Mayr. — *Aus den Waldungen Japon's.* 1891, p. 27 (*Fumarolen*).

651 1892 Stange. — *Beziehungen zwischen substrationconcentration, Turgor und Wachstum bei einigen phanerogamen Pflanzen. Botan. Zeitung*, 1892.

652 1892 A. Richter. — *Ueber die Aupassung der Süsswasseralgen an Kochsalzlosungen*, Flora, 1892.

653 1894 E. Stahl. — *Einige Versuche über Transpiration und Assimilation. Bot. Zeit.*, 1894.

654 1895 E. Gain. — *Rech, sur le rôle physiologique de l'eau dans la végétation* (*Ann. sc. nat. bot.*, 7e s., t. XX, 1895).

655 1896 Hansteen. — *Beitrage zur Kenntniss der Eiwesbildung und der Bedingungen der Realisirung dieses Processes im phanerogamen Pflanzenkorper. Ber. d. deutschen botan. Gesellschafft.* Bd. XIV, 1896.

656 1897 Dr Saint-Lager. — *Réfutation de la doctrine concer-*

nant les plantes dolomitophiles (*Ann. Soc. d'hort. et d'hist. nat. de l'Hérault*, t. XXIV, 1897, p. 96).

657 1897 O. Rosenberg. — *Ueber die Transpiration der Halophyten Oefversigt af Kongl. Vetensk. Akad. Forhandl. Stockolm*, 1897.

658 1900 A.-F.-W. Schimper. — *Zur Frage der Assimilation der mineralsalze durch die grüne Pflanze*, Flora, 1900.

659 Schimper. — *Vergl.* 3 (Nitrate, etc., in III, Fumarolen in I u. II).

660 C. Brick. — *Beitrage zur Biologie und Vergleichenden Anatomie der Baltischen Strandgewachse. Schriften der naturf. Ges. zu Danzig. Neue Folge*. Nr. 7.

2° Complément à la Revue historique de la chlorose

661—233 P. de Rouville. — *Premier essai de carte des divers sols de l'Hérault, au point de vue viticole*.

662—234 Hilgard et Vilbouchevitch. — *La conquête des terrains alcalins par le plâtrage*.

663—235 Raymond Brunet. — *Les maladies et insectes de la Vigne* (*La Chlorose*, p. 270).

664—236 H. Lagatu et L. Semichon. *Matériaux pour une étude des terres du département de l'Hérault* (I, arrondissement de Béziers).

665 237 E. Courty. — *Reconstitution des vignobles par les plants américains*, 1893.

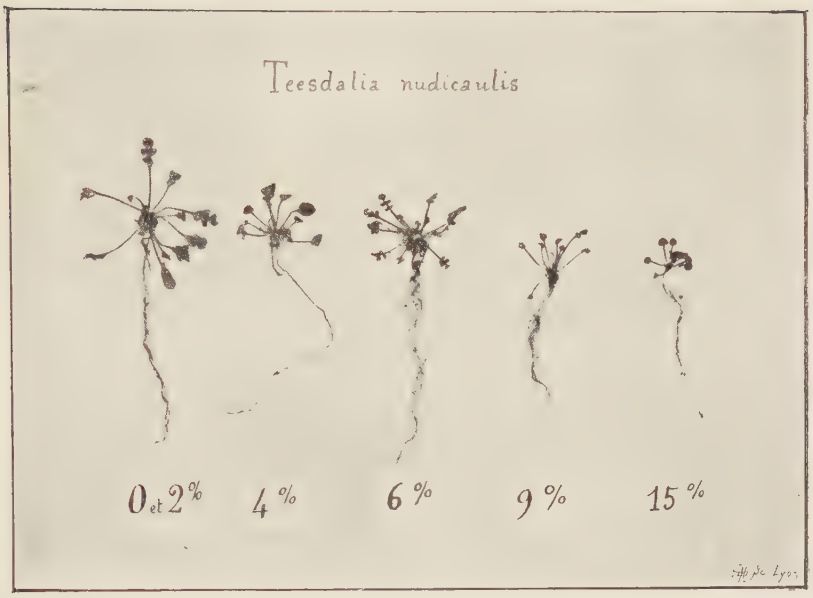
666—238 L. Degrully. — *Les plants américains en sols calcaires*, 1896.

En terminant, et pour répondre brièvement, par avance, à l'objection qui pourra nous être faite d'avoir opéré en *sols naturels* qui ne donnent pas des résultats aussi nets que les cultures en solutions minérales graduées, nous renverrons à ce que nous avons dit aux pag. 147, 148, 158, etc., de notre travail. Il va sans dire, d'autre part, que des solutions de bicarbonate de chaux, ne pouvant varier dans des limites aussi grandes que les solutions de sels plus solubles (sel marin, sels divers

expérimentés par Dassonville, etc.), ne nous auraient pas fourni une échelle suffisamment variée pour nos comparaisons. Nous le répétons l'action du *calcaire* ne peut être expérimentée qu'en sols naturels, se rapprochant autant que possible des conditions normales de végétation.

TEESDALIA NUDICAULIS

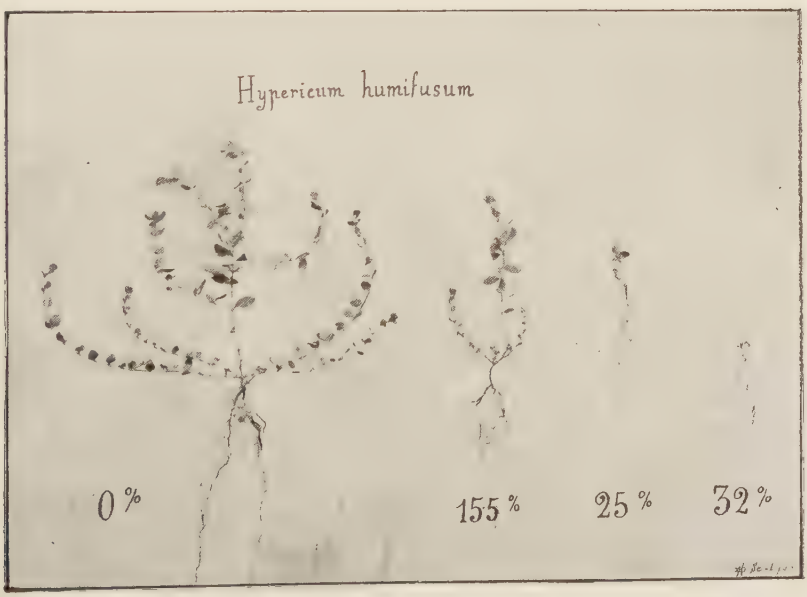
Pl. I



Semis du 1er avril. — Cliché du 11 août 1899.
3/5 grandeur naturelle.

HYPERICUM HUMIFUSUM

Pl. II



Semés le 25 mars et photographiés le 11 août 1899, au 1/4 de grandeur naturelle.
Les trois derniers spécimens étaient *chlorotiques*.

OROBUS TUBEROSUS Pl. III

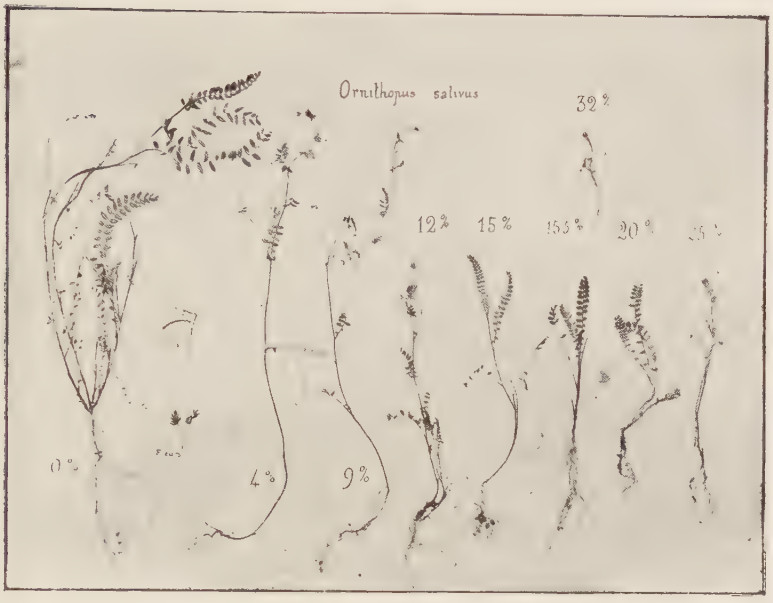
Semis du 25 mars. — Cliché pris le 10 août 1899, 1/4 de grandeur naturelle.
Les trois derniers spécimens étaient *chlorotiques*.

LUPINUS POLYPHYLLUS Pl. IV

Semis du 25 mars. — État des plantes au 11 août 1899, 1/4 de grandeur naturelle.
Les deux derniers spécimens étaient *chlorosés*, le dernier surtout.

ORNITHOPUS SATIVUS

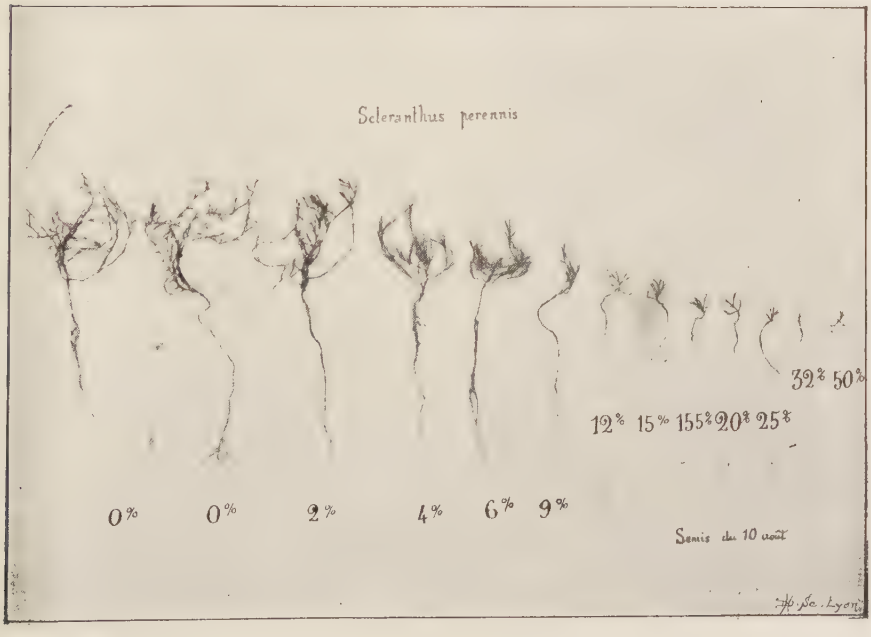
Pl. VII



Semis du 25 mars.
Atrophie et Chlorose progressives selon la teneur du sol en carbonate de chaux.
1/5 de grandeur naturelle.

SCLERANTHUS PERENNIS

Pl. VIII

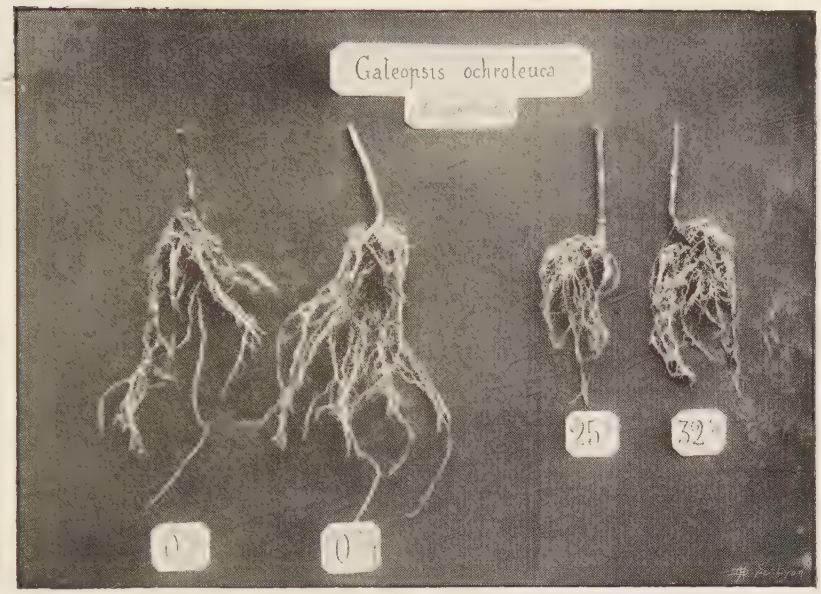


Semés le 10 août de graines rapportées de La Tour-de-Salvagny. — Photographie du 25 septembre 1899, 1/3 de grandeur naturelle

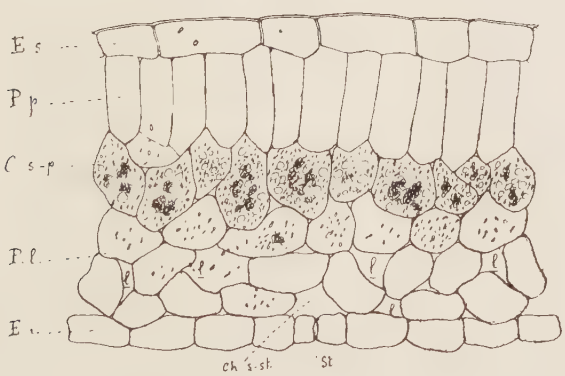
Semés le 15 avril. — Photographie du 11 août 1899.
1.6 de grandeur naturelle.

ZEA MAYS Pl. X

Plantes semées le 1er avril et photographiées le 10 septembre pour montrer la diminution de la taille en raison directe de la teneur du sol en CO^3Ca.



Échantillons repiqués provenant de La Tour-de-Salvagny (Rhône)
En sols calcaires, après 3 mois de changement de sol, les racines sont restées très fasciculées, peu pivotantes et assez grêles.



Coupe transversale d'une feuille de Vigne chlorosée au 4e degré.

Il ne reste plus de chlorophylle dans les cellules, sauf quelques grumeaux et gouttelettes huileuses dans la couche sous-palissadique, dont les cellules sont complètement bondées de corpuscules mobiles. Les corpuscules mobiles sont rares dans le reste du mésophylle. — E. s., épiderme supérieur; E. i., épiderme inférieur; P. p., parenchyme en palissade; C. s.-p., couche sous-palissadique; P. l., par. lacuneux; l., lacunes; St., stomate; Ch. s.-st., chambre sous-stomatique. (Dessin à la chambre claire).

FEUILLES DE *Prunier* AUX 4 DEGRÉS DE CHLOROSE
(1/2 schématique)

Fig. 1. — Feuille au 1er degré de chlorose: décoloration à peine marquée, surtout sur les bords.

Fig. 2. — Feuille chlorosée au 2e degré: décoloration prononcée, teinte jaune, en plages entre les nervures.

Fig. 3. — Feuille chlorosée au 3e degré: décoloration presque complète, teinte jaune du limbe, sauf le long des nervures

Fig. 4. — Feuille chlorosée au 4e degré: décoloration complète, même le long des nervures. Teinte jaune crémeux ou jaune-blanchâtre. Apparition de plaques de mortification sur les bords.

FIGURES *schématiques* REPRÉSENTANT LA CELLULE MÉSOPHYLLIENNE AUX 4 DEGRÉS DE CHLOROSE

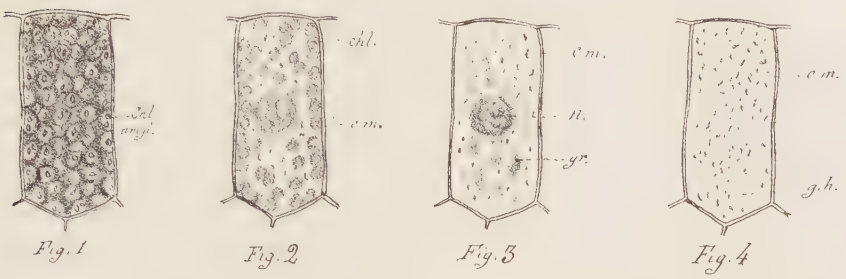


Fig. 1 *Fig. 2* *Fig. 3* *Fig. 4*

Fig. 1. — *Cellule au début de la chlorose* : aspect presque encore normal ; les chloroleucites (*chl. amyl.*) sont encore verts et leurs granules amyligènes deviennent moins nombreux.

Fig. 2. — *Cellule chlorotique au 2e degré* : les chloroleucites perdent leur relief, deviennent plus clairs, plus petits, moins verts, sans granules amylacés. Corpuscules mobiles (*c. m.*).

Fig. 3. — *Cellule chlorotique au 3e degré* : les chloroleucites se désagrègent en grumeaux (*gr.*). Le noyau (*n.*) devient bien visible ; corpuscules mobiles nombreux.

Fig. 4. — *Cellule chlorotique au 4e degré* : dégénérescence complète ; les gouttelettes huileuses (*g. h.*) sont les dernières traces des chloroleucites. Corpuscules mobiles très nombreux.

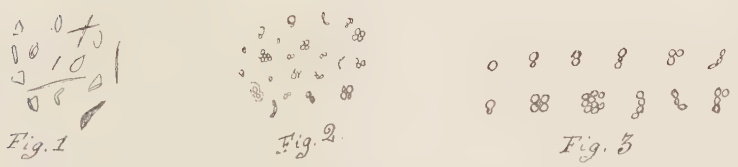


Fig. 1 *Fig. 2* *Fig. 3*

Fig. 1. — Aspects divers des grains d'amidon, des cristalloïdes protéiques et des microcristaux intracellulaires.

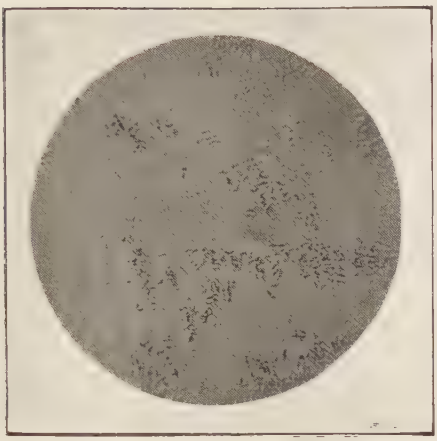
Fig. 2. — Aspects principaux des corpuscules mobiles (*Phyllobium*) pour les distinguer des corps inertes de la figure 1.

Fig. 3. — Phases successives de division (microcoques, diplocoques, tétrades, streptocoques, straphylocoques) des microorganismes intracellulaires. Ces formes s'observent soit *in situ*, soit dans les cultures sur gélatine.

(Figures 1/2 schématiques)

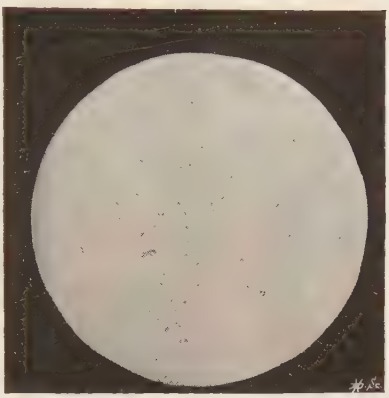
SEMENCE PRISE DANS LE *Sempervivum*

(Culture, sur gélatine peptonisée, âgée de 2 mois).



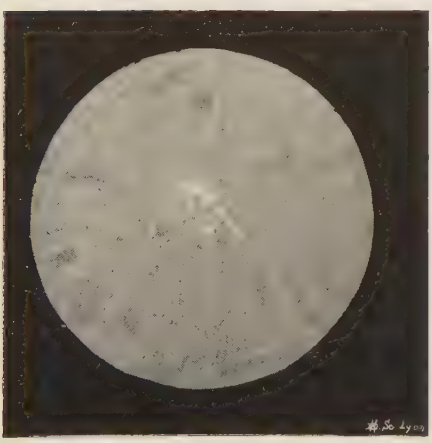
Microorganismes réunis en chaînettes à 2, 3 ou 4 individus, et offrant l'aspect de bacilles.

Clichés instantanés. Objectif à immersion homogène 2. O. Zeiss. Distance de l'objectif: 1 mètre.



Microorganismes isolés ou réunis en diplocoques et courtes chaînettes.

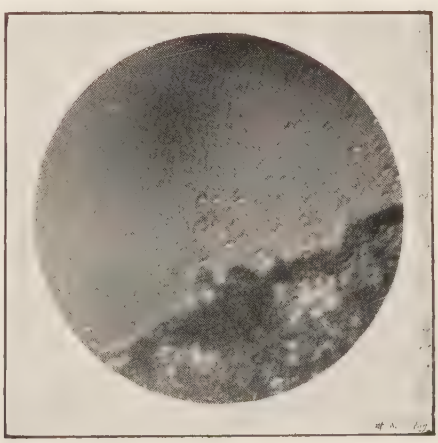
ASPECT NORMAL DES MICROORGANISMES



Pulpe de feuille de Lupin

Microorganismes ovoïdes isolés ou en diplocoques, à mouvements rapides.

Clichés instantanés.



Coupe de feuille d'Orobus.

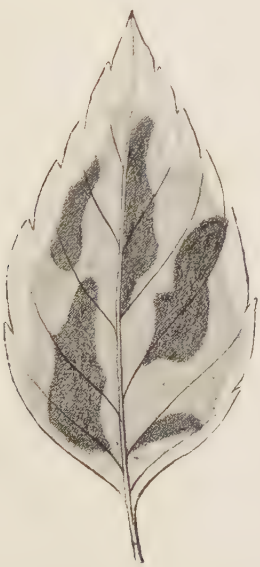
Microorganismes sortis des cellules par pression et se mouvant rapidement dans l'eau.

Fig. 1

Fig. 1. — *Flavescence* ou *Chlorose*. — Le limbe jaunit ; les nervures restent ordinairement vertes les dernières marche centripète.

Fig. 2

Fig. 2. — *Sénilescence* ou *Dépérissement sénile automnal*. — Les nervures jaunissent les premières ; le limbe reste vert ; la marche de l'altération est centrifuge.



Variescence ou ***Panachure*** : — Taches, bandes, etc., vert foncé et vert clair, à *contours nettement limités*. Pourtour du limbe jaune.

TABLE ALPHABÉTIQUE DES 750 AUTEURS CITÉS

A

Acharius. 92
Acton. 5, 440
Adalbert. 52
Agardt. 293
Aigret (Ch.). 75
Albert (Ch.). 87, 131
Altmann. 313, 314, 355
Ammann (A.). 244
André 2, 14, 15, 196, 244, 247, 441
Anthelme (P.). 419
Arbois de Jubainville (d'). 246
387, 409, 433
Archambault. 17
Areschoug. 26, 27
Arloing. 354
Arnaud. 294
Arnold. 92
Arrhenius (S.). 188
Arthur (J.-C.). 313, 317
Audin (M.). 89, 118
Audoynaud. 73, 246, 253, 418
Augstrôm 294, 298
Avequin. 15

B

Bach. 441
Bagnet. 367
Baichère. 103
Bailey 21
Balsamo-Crivelli. 310
Barral. 266
Barthélemy. 11, 190
Bary (de). 311, 312, 321
Batalin. 134, 366
Battanchon. 421
Battandier. 145
Baumann. 145, 209
Bayer. 441
Bazot (L.). 84
Beaudouin. 50
Beauverie (J.). 350
Béchamp (A.). 308 à 310, 355
Beille (G.-L.). 81, 117
Bel (Jules). 251
Bellair (G.). 415, 417
Belzung (E.). 250, 252, 301, 441
Berlese. 255
Bernard (A.). 15, 83, 222, 253, 254
343, 415
Bernard (Cl.). 441
Berthault (F.). 88
Berthelot. 2, 6, 14, 15, 143, 186
195, 196, 441
Berthier. 16, 17, 18, 429
Bertin-Sans. 297
Bertrand 196, 304, 342, 354
Berzélius. 18, 293, 297
Besse (le chanoine). 66
Beyerinck (W.). 5, 313, 314, 327
355, 441
Billiet (Mgr). 50
Billroth. 312
Bisset. 249, 375
Bleu. 414
Blumenbach (J.). 46
Bœhm (J.). 5, 36, 37, 38, 67, 136
197, 201, 202, 386, 440
Boergesen (F.). 26, 27
Bogenhard (Carl.). 53
Boiret. 252, 367
Boitel. 73, 74, 232, 233, 234
Bokorny (Th.). 5, 195, 201, 208
346, 440
Bolley. 317
Bonnet. 4
Bonnet (Dr). 131, 345
Bonnier (G.). 26, 40, 71, 73, 81, 85
137, 138, 139, 247, 346, 385, 436, 440
Boreau (E.). 53, 57, 95
Borodin. 441
Boubée (Nérée). 51, 106, 213
Bouchard. 250, 441
Bouché. 259, 433
Bougarel. 297
Bouilhac (R.). 142, 174, 335
Boulay (abbé). 62, 64, 65, 68, 69, 76
Boullenger (Le). 91
Boullu (abbé). 399
Bouscasse. 79, 225, 227
Boussingault. 1, 5, 15, 16, 18, 30, 58
186, 222, 224, 226, 245, 298, 369, 371
425, 440, 441
Boutroux (L.). 314
Boyé (Aug.). 249, 378, 413
Boyle. 4
Braangart (R.). 71, 117
Brande. 298
Bras (Dr Ant.). 68
Braun (Alex.). 18
Bréal. 5, 6, 10, 76, 136, 142, 143
200, 355, 440
Brébisson (Alph. de). 47
Bréfeld. 353
Brick. 134, 208, 366
Bringuier. 249, 375
Briquet. 26
Brongniart (Al.). 4, 53, 345, 440

Brown. 441
Brugmans. 11
Brunet (R.) (addenda). 447
Buchmeister. 18
Buckert. 16
Buffon. 353
Bührer. 77, 134, 206
Bunsen. 19
Bureau (Ed.). 73
Burgestein. 145
Burrill (T.-J.). 260, 309, 313, 392

C

Cailletet. 436
Calmette. 441
Camusat (J.). 85, 118
Candolle (A. de). 11, 21, 30, 46, 56 70, 105, 110, 131, 242, 293
Capus (G.). 200
Carion (Dr). 49
Cariot (abbé). 82
Carnoy (le chanoine). 281
Carpiaux. 441
Carrière. 259
Caruel (Th.). 63
Castel. 253, 361
Castellet. 370
Caumont (A. de). 47
Cauvet (D.). 11, 44, 71
Caventou. 293, 297
Cazeaux-Cazalet. 78, 252, 253 267 274, 276, 279, 304, 330, 332, 326 337, 344 372 à 375, 377, 378, 380 382, 385, 389, 394, 413, 415, 418
Chalon (J.). 426, 433
Chamberland. 354
Chamousset. 50
Chareyre (J.). 21, 22, 29, 133, 191 195, 197, 315, 425
Charguerraud (A.) 78
Chatin (Ad.). 55, 64, 69, 116, 131 248, 263, 415
Chautard 245, 298
Chauveau. 310, 354
Chauzit (B.). 72, 81, 84, 85, 208, 246 250, 253, 255, 266, 337, 362, 363, 364, 367, 369, 381, 421
Christ (Dr H.). 75, 144
Church. 245, 246, 249, 436
Clarke. 188
Clary. 370
Clavaud. 75
Clément. 50
Clifton. 16
Cloer. 440
Clos (D.). 248
Cohn (Ferd.). 305, 311
Condeminal. 421
Contejean (Ch.). 13, 30, 31, 32, 41 54, 55, 95, 96, 97, 105, 116, 130, 140 204, 205, 207, 66, 67, 70, 71, 73, 91 208, 209, 211, 214, 245, 262, 264 280 362
Corenwinder. 16, 206
Cornevin. 232
Cornu. 69
Corradori. 10
Costantin. 366
Coste-Floret (P.). 256, 257, 372, 393 413, 419, 420
Couderc. 249, 251, 252, 395, 397
Coupin (H.). 210, 418
Courchet. 249
Courty addenda). 447
Coutagne (G.). 82, 83, 85, 239, 252 à 254, 280, 302, 341, 356, 362, 365 379, 380, 394, 412, 421
Crevat (J.). 84, 265
Crié (L.). 63, 71
Crochetelle (J.). 256, 297, 329, 340 369, 371, 377, 415, 417
Cuboni. 326
Cusin. 116, 122

D

Dangeard (A.-P.). 253
Daniel (L.). 82, 227
Darwin. 40
Dassonville. 5, 38, 39, 77, 88, 135 184, 206, 207, 208, 440
Daubeny. 13
David (Ph.). 70
Davy (Humphry). 4, 23
Debat. 66, 120, 122
Debray 316, 391
Decaisne (J.). 244, 414
Degrully. 252, 255, 256, 258, 339 340 369, 417, 420
Dehérain (P.-P.). 5, 10 13, 18, 23 37, 71, 76, 84, 136, 143, 141, 142 191, 195, 200, 206, 207, 226, 228 366, 415, 420, 440, 441
Dehnecke. 315
Déjardin. 365
Delacroix. 257, 317, 318, 392
Delbos. 30, 55
Delesse. 73, 133
Demoussy. 5, 89, 141, 142, 143 205, 440
Deninger. 18
Desjardins. 208, 246
Despetis (Dr). 248, 249, 373, 375
Detmer (W.). 247, 259, 367
Dezeimeris. 250, 385
Dippel. 297
Dixon. 314, 315
Dœll. 50
Dombasle (Mathieu). 4
Drude (Dr O.). 79, 88
Dubourg. 250, 369, 397
Dubourg-d'Isigny. 48
Dubreuil. 414
Duchartre. 69, 77, 414
Duclaux. 358, 441
Duhamel. 4, 10
Dumas (Emilien). 110
Dumas (Léon). 30
Dumortier. 63
Dunal (Félix). 52, 107, 208
Durand (de Gros, Dr). 232

Durand-Dusquesney. 51
Durocher. 15, 16, 20, 53, 57, 96 104, 127, 133, 194, 202, 337, 430
Dworzak. 5, 440
Dyer (Bernard). 11, 12

E

Ebermayer (Dr E.). 17
Ehrenberg. 311
Engelmann (Th. W.). 247, 249, 298 436, 440
Engler. 26
Erdmann. 16, 206, 342, 440
Estor. 308
Etard. 186, 256, 257, 259, 281 296, 298

F

Fallou. 50
Falsan (A.). 26
Farsky. 72
Faure (Alfred). 101
Fischer (A.). 22
Flagey. 92
Flahault (Ch.). 26, 80, 82, 85 101, 102
Fleitmann. 17
Fleurent (E.). 442
Fliche. 17, 20, 65, 67, 70, 71, 102 131, 134, 145, 180, 184, 187, 245, 263, 280, 337, 362, 429.
Floerke. 92
Flotow 92
Foëx (G.). 88, 247, 251, 256, 257 266, 361, 369, 375, 378, 387, 390 391, 413
Fons (A. de la). 49, 50
Forscher, 144
Foucaud (J.). 70, 78
Foucroy. 21
Fournier (Dr Eug.) 74
Franchet (A.). 77
Franck 5, 441
Frank (A.-B.). 6, 143, 260, 259 339, 341, 347, 356, 368, 381, 383 392, 428
Franklin. 107, 228
Frémy. 22, 196, 297
Freire (Domingos). 318
Fresenius. 16
Fries. 92
Fuchs (Th.). 69
Fuckel. 260, 392
Funck. 293

G

Gain (Edm.). 4, 352
Galesnow (de). 63
Galimbert. 260
Garbini. 326
Garreau. 17, 59
Gasparin (de). 30
Gasser (A.). 87, 90, 107, 122, 126 187, 259, 376, 388, 396
Gastine (G.). 255, 339, 340, 369, 415
Gauchery (P.). 258, 437
Gautier (A.). 101, 295, 296, 298
Gavoty (R.). 88, 257, 365, 381, 383
Gayon (U.). 364, 441
Gérard (R.). 281
Gerber. 302, 441
Gerlach. 226
Gervais (Prosper(. 88, 89, 254, 256 257, 267, 360, 362, 370, 380, 395, 403
Gilbert. 5, 371, 441
Gillot (Dr X.). 85, 104, 109, 113, 116 118, 119
Girard (A.). 441
Girardin. 414
Giraud. 414
Giraud-Soulavie (abbé). 45
Godet. 65
Godlewsky. 352, 441
Godron (Dr). 50, 58, 61, 122
Gœtting (Ch.). 75
Golden (K.-C.). 317
Gos. 420
Gottsche. 21
Goudœver (Van). 298
Gouirand. 255
Grabowski 50
Graham (Th.). 13
Grandeau (L.). 5, 12, 17, 18, 20, 65 67, 68, 70, 71, 87, 131, 134, 141, 142 145, 180, 184, 187, 201, 225, 245 263, 280, 337, 362, 415, 440
Gras (Scipion). 64, 65
Grasset (de). 397
Grateloup. 48
Gratiolet. 440
Grellet (E.-J.). 90, 236
Grenier. 63, 66
Griesselich. 48
Griffiths. 247, 414
Griffon (E.). 28, 182, 195, 207, 208 209, 257, 258, 290, 347, 371, 385 418, 429, 435, 436, 440
Gris (Arthur). 243, 244, 294, 300 305, 306, 366, 383, 384, 408, 414 415, 423
Gris (Eusèbe). 209, 242, 264, 366 414, 415
Grisebach. 25, 70
Gubler (Ad.). 27, 60, 63
Gueymard. 19
Guibourt. 293
Guignard. 441
Guillon (J.-M.). 256, 258, 304, 417
Guilloteaux (J.). 132, 142
Guinier. 72
Guyot (Dr). 370

H

Haberlandt. 347, 428
Hales. 11
Hallier (E.). 244
Hamann 314, 328
Hamel (H.-C.-F.). 243
Hansteen. 5, 145, 440, 441

Hanstein. 57, 59
Hartig. 251, 305, 309, 313
Hartsen. 297
Hassack. 248
Haselhof. 418
Haynald (Dr L.). 70
Heald. 188
Heckel (Dr E.). 137, 441
Heer (Oswald). 30, 48
Heine. 315
Heinrich. 5, 87, 137, 138, 139, 140 141, 142, 145, 201, 202, 440
Hellriegel. 5, 441
Helmont (Van). 4
Henhonze. 17
Henninger. 354
Henry. 17, 19, 106
Herapath. 295
Hétier (F.). 87
Hilgard. 79, 145
Hiltner. 142, 317
Hitier (H.). 83
Hœckel. 441
Hofmeister. 294
Hoffmann (H.). 59, 62, 64, 145
Höhnel (Fr von) 204
Holandre (J.). 47
Holle. 305
Hoppe-Seyler. 295, 298
Houdaille. 85, 222, 254, 255 256, 257, 362, 365, 379
Houzeau. 18
Howard. 244
Hruschauer. 51, 53, 54, 339
Humboldt (Al. de). 25, 46
Hyrth (Dr). 56

I

Ingen-Housz. 345
Ivolas (J.) 79, 81

J

Jaccard (H.). 86, 89
Jeanjean (A.). 72, 79, 208, 248, 365
Jentys. 35, 372
Jodin (V.). 204
Johnson (S.). 91
Jolis (Aug. Le). 51, 59, 60, 221
Joly (Ch.). 28
Jordan (A.). 53
Joulie (H.) 5, 17, 201, 206, 225, 247 250, 251, 253, 341, 361, 369, 414
Jubainville (voy. Arbois).
Jullien. 370
Junghuhn. 145
Juratzka. 61
Jurine. 21
Jussieu (A. de). 50, 61, 105

K

Kahlenberg. 188
Kane. 17
Kayser. 441
Kellermann. 37, 136, 392
Kerner (A.). 61, 62, 64, 83, 144
Kieser. 21
Kinoshita. 441
Kirschleger. 54, 91
Kirwan. 16
Klein 305
Knop. 5, 17, 77, 259, 369, 409 414, 440
Kny. 21
Kœchlin. 17, 18
Kochs. 315
Kœrber. 92
Kohl. 81, 197, 198, 440
Kossowitch. 441
Kostytchew (P.). 81
Kramer (E.). 305, 317
Kraft. 4
Krasan. 77
Krassilschtschik. 326
Kraus (G.). 245, 295, 297, 298 347, 428
Krempelhuber (A. von). 60, 92
Kreusler. 441
Kreuzhaye. 5, 204, 440
Kronig. 188
Kruschauer. 18
Kuhlmann. 371
Kühn (J.) 244
Kürmann. 260, 370

L

Lachmann. 47, 111
Lacroix. 113
Ladrey. 118, 370
Lafitte Prosper de). 251
Lagatu. 84, 254, 363, 382
Laisné (O.). 63, 417
Lamotte (M.). 52, 73
Lamy. 67
Landstrœm. 441
Langlois. 15, 16
Lassimone. 83
Laurent (Emile). 5, 9, 15, 43, 83 90, 101, 203, 208, 227, 229, 235, 313 317, 325, 344, 349, 350, 352, 355, 393
Laurent (J.). 5, 440
Laurent. 5, 143, 441
Lavoisier. 440, 441
Lawes. 5, 371, 441
Leclerc (A.). 386
Lecoq (Henri). 32, 52, 55, 207
Legrand (A.). 65, 79, 116
Le Jolis (Aug.). 51, 59, 60, 221
Lenhosseck. 306
Léonard. 68
Le Play (A.). 91, 115
Lequereux. 144
Lesage (P.). 38, 77, 82, 106, 134 135, 171, 182, 207, 208, 250, 342, 346 361, 366, 422
Letacq (abbé). 86
Letellier. 16
Letourneux (T.). 60
Leutchwein. 16, 18
Leutchenweiss. 16

Leuwenhoeck. 21, 311
Libank (K.). 249, 361, 421
Lindley. 293
Lindemuth (von). 260, 433
Liebig. 4, 5, 15, 16, 345, 440, 441
Liebenberg (H. von). 5, 37, 73, 76 136, 203, 440
Liebscher. 142
Linné. 45
Link (H.-F.). 21, 45, 293
Linossier. 252
Lloyd (J.). 67, 78
Löb. 188
Lœhr. 52
Lombard. 243
Lorenz (J.-R.). 57
Lœw. 5, 88. 208, 257, 268, 364, 371 418, 419, 421, 440, 441
Lowe. 244
Luca (de). 18, 441
Lupke. 5, 206, 440
Lürssen. 146, 446

M

Macaire Princeps. 11, 242, 293, 294
Macchiati (L.). 80, 83, 251
Macé. 323
Machaska. 50
Maggi (L.). 310
Magne 232, 233, 235
Magnin (Dr Ant.). 25, 26, 34, 44, 67 à 69, 71 à 80, 84, 87, 92, 96, 100 103, 106, 109, 111, 116 à 120, 122 123, 127, 129, 131, 213, 218, 239 265, 311, 323
Maillard (L.). 188, 306, 317
Maire (R.). 86, 90, 107, 122, 126 187, 259, 376, 388, 396
Malafosse (de). 420
Malaguti. 15, 16, 20, 57, 96, 104, 127 133, 194, 202, 337, 430
Malinvaud 69, 77, 145
Mallèvre. 196, 304, 342, 354
Malpighi. 21
Mangin (L.) 247, 316, 346, 436, 440
Maquenne. 420, 441
Marchand (Léon). 310, 353
Marchlewsky. 293
Marck (Von der). 54
Maréchal. 441
Marès (H.). 370
Marguerite-Delacharlonny. 251, 361 368, 370, 371, 373, 375, 377, 383 384, 387, 414
Marquart. 294, 297
Martens. 294
Martin (V. de). 62
Maschke. 305
Masclef (abbé). 41, 80, 83, 181 215, 145
Massalongo. 92
Mathieu (A.). 131, 263
Mauro. 415
Mayer. 228
Maynard. 260
Mayr. 145
Mazade. 255
Mazé (P.). 5, 142, 174, 440, 441
Mélicocq (de la Fons de). 49, 50
Ménière. 55
Ménudier. 373, 414
Mer. 245, 365, 373, 375, 395
Metchnikoff. 354
Metgé. 255, 365, 373, 375, 395
Meunier. 17, 419
Meyen (F.-J.). 21, 48, 242, 259 433, 440
Meyer (A.). 5, 19, 64, 202, 441
Meyran (Oct.). 85
Michalet. 62
Michelin. 50
Milioutin (L.). 81
Milde. 146
Millardet. 74, 246, 378, 397, 418
Mirande. 23
Mirbel (John). 11
Missol (E.). 254, 255, 267, 397, 409
Mohl (Ugo von). 24, 49, 51, 91, 242 243, 347, 428
Moitessier. 297
Molendo. 62
Molisch (H.). 11, 12, 201, 298, 441
Montagne. 92
Monteverde. 23, 199, 255, 295 298, 441
Moquin-Tandon. 55, 242
Moreau. 65
Morel. 137
Morel (Francisque). 83, 264, 280
Morel (voy. Viviand-).
Morière (M.-J.). 59
Morren (Ch.). 293
Morren (Ed.). 243, 244, 245, 433, 434
Morris. 441
Mougeot. 51
Moulins (Ch. des). 51, 52, 58, 131, 263
Moulon-Fontenille. 45
Mudler. 298, 300
Mullet. 50
Müller (O.). 441
Müntz (A.) 5, 8, 225, 227, 257 415, 440, 441
Murray. 11, 47

N

Narbonne (Paul). 249
Neilreich (Aug.) 51, 63
Nobbe. 5, 142, 206, 342, 366, 440
Nægeli. 40, 42, 62, 305, 306, 312 353, 418
Notaris (de). 92
Nylander. 92
Nypels (Paul). 257, 317

O

Oberlin. 421
Oehlmann (V.). 89, 144, 280
Ogston. 16
Oken. 310
Olivier (Louis). 74, 281

Otto. 418
Overton. 258, 296, 347, 428

P

Pagnoul. 441
Palissy (Bernard). 3
Palladine. 252, 346, 425
Pariso!. 58, 116, 192
Parmentier (P.). 184
Paroissien. 420
Pasquel. 231, 232
Pasteur. 186, 310, 316, 326, 354, 441
Paturel. 252, 11, 367
Paul 188
Payen. 4, 16, 21, 22, 23, 192, 220
Payot (Venance). 68, 75
Péligot (Eug.). 5, 14, 16, 205 440, 441
Pellet. 13, 17, 72, 133
Pelletier. 293, 297
Pérard. 64
Perrier de la Bathie. 107
Perroud (Dr). 78, 116, 117
Personnat. 63
Pertuis. 16
Pétermann (A). 5, 17, 76, 440
Petiot 82, 252, 362, 367, 370, 381, 395
Petit (E.). 80, 249, 372, 373, 375 377, 378
Petit-Lafitte. 370
Petzhold. 16
Peyrou (J.). 346
Pfaundler. 367
Pfeffer. 305, 441
Phipson (T.). 246, 252
Pichard. 18
Planchon (J.-E.). 55, 60, 63, 72, 107 208, 247
Play (A. Le). (Voy. Le Play).
Plenck. 241, 377, 387, 390, 398, 408
Plichon. 16
Pline. 224
Pokorny. 54, 58, 61
Pons (B.). 15, 193, 252, 343, 414, 417
Portes. 248, 305, 340
Poulsen. 281
Prazmowsky. 5, 355, 441
Prénant. 306
Prianischnikow. 441
Priestley. 345, 440
Prillieux. 257, 309, 313, 317, 318, 392
Princeps (Macaire). 242, 293, 297
Pringsheim. 245, 295, 298, 300
Prunet. 441
Puel (T.). 58, 55
Pugh. 5, 441

Q

Quélet (Dr L.). 67, 100
Quincy. 118

R

Radelkofer. 305
Rafinesque. 305
Rafn. 21
Rames. 72
Rammelsberg. 16
Ramond (L.). 91
Raquet. 417
Rassiguier (Dr). 414
Raulin 2, 5, 9, 64, 186, 440
Raumer (Ed. von). 37, 136, 208
Ravaz (L.). 81, 83, 84, 116, 131 250, 252, 253, 257, 266, 337, 362 364, 373, 375, 376, 377, 384, 388 389, 390, 391 395, 401, 402, 405 409, 414, 415
Ravin (E.). 63
Reinke 298
Renauld (F.). 65, 66, 71, 75
Rendu. 370
Reynier. 72
Richard (O.) (addenda). 446
Riche (A.). 113
Richter (K.). 21, 145
Rigaux. 256
Risler (Eug.). 87, 231, 234
Ritter (L.). 59
Robin. 353
Rocher. 61
Rœthe (Carl.). 56, 57, 64
Roggers (W.-B. et R.-E.). 52
Rosenberg. 145
Ross. 26
Roos (L.). 253
Röthe. 17, 134
Rotondi. 260
Rougier. 248, 381
Roussel. 257
Rouville (P. de). 110
Roux (J.-A. Cl.). 89, 90, 188, 258
Roux (Dr G.). 323
Roze (E.). 316
Rudolphi. 21
Ruehle (G.-F.). 49
Rumm. 253, 418
Russell (W.). 26
Ruyssen. 248, 340

S

Sachs (Julius). 11, 21, 66, 146, 190 209, 244, 249, 250, 260, 297, 300, 345 348, 361, 367, 369, 429, 409, 440, 441
Sadebeck. 146
Sagnier. 266
Sagorski. 82, 116
Sagot (Dr P.). 91
Sahut (Félix). 80, 247, 248, 249, 251 360, 367, 373, 384, 389, 391, 401
Saint-Lager (Dr). 12, 14, 25, 40, 95 96, 100, 101, 103, 106, 107, 110, 111 116, 42, 68, 69, 74, 82, 86, 119, 120 à 124, 128, 129, 207, 213
Salfeld (Dr). 142, 227
Salm-Horstmar (prince de). 209 213, 294, 367, 368
Sanio. 21
Sanson. 232
Saporta (A. de). 90, 214, 255
Sapoznikow. 435

Saussure (de). 4, 10, 13, 16, 17, 19 46, 201, 242, 436, 440
Sauter (Anton.). 65, 72
Sauvageau (C.). 316
Savastano (L.). 313
Schacht. 21
Schérer. 92, 298
Schimper. 5, 16, 26, 60, 80, 81, 88 200, 203, 208, 247, 145, 301, 305 327, 342, 345, 361, 440, 441
Schlechtendal (de). 242
Schleiden. 21, 23
Schlœsing. 5, 143, 225, 227, 440
Schneider. 82, 116
Schnitz. 301, 327
Schnizlein. 30, 52
Schœll. 259
Schœnefeld (de). 56, 55
Schrœder. 5, 206, 342, 440
Schrœter (C.). 26, 56, 87
Schubart. 228
Schube. 26
Schübler. 30, 293, 294
Schulze. 259, 339, 441
Schulz-Lupitz 140, 142
Schultz (Fr. W.). 61, 145
Sendtner (O.) 56, 57, 60, 62, 91
Semichon. 84, 85, 254, 362, 365 379, 382
Senebier (J.). 10, 241, 293, 345
Serres (P.). 251, 419
Simony (Fr.). 91
Sirodot (E.). 255
Smith (Erwin F. 260, 316, 318
Soler (Diego). 370
Sorauer. 245, 251, 313, 317
Sorby. 16, 297
Sotsmann. 441
Spencer (Herbert). 41
Stahl (E.). 145
Stange. 145
Stebler (Dr F.-G.) 87
Stenfort. 69
Steuzel. 65
Stevens. 188
Strasburger (E.). 313, 428
Strohmann. 36
Strokasa (J.). 142, 421
Stromeyer (F.). 46
Stur (D.). 54, 56, 57
Svantes Arrhenius. 188

T

Tacussel. 87
Tenobe. 206
Thaër 4
Thompson. 2
Thurmann (Jules). 26, 30, 31, 51 53, 54, 99, 105, 109, 140, 205
Tieghem (Van) 24, 83, 308, 311, 441
Timbal-Lagrave. 145
Timirjazeff. 247, 250, 295, 298
Tollard 243
Tommasini. 53
Tomson. 47
Tord (Max). 250, 415
Trautschold. 58
Trécul. 305, 308
Treub 441
Treviranus. 46
Trouchaud-Verdier. 421
Trubert. 222
True. 188
Truffaut. 220
Tschiffeli. 228
Tschirch. 293, 295, 297, 298
Tsvett. 258, 296, 298, 300
Tulasne. 353
Turpin. 23, 310, 353

U

Unger (F.). 11, 48, 53, 54, 95, 102 116, 128

V

Vallot (J.). 42, 74, 75, 76, 79, 87 104, 116, 131, 132
Vauquelin 18, 21, 298
Vergnette-Lamotte. 370
Verneuil. 246, 374
Vernier. 137, 139, 140
Vesque (J.). 5, 6, 15, 21, 23, 77 145, 184, 199, 246, 247, 387, 409, 425 433, 440
Viala (P.). 84, 85, 190, 250, 251, 252 254, 266, 275, 279, 280, 304, 316 332, 337, 356, 362, 363, 364, 369 375, 376, 377, 378, 384, 388, 390 415, 417
Vialettes (D.). 248
Vialla (L.). 70, 246, 366, 374
Vilbouchewitch (addenda). 447
Ville Georges). 5, 6, 57, 77, 82, 85 106, 143, 250, 255, 371, 421, 440
Vilmorin (de). 371
Vincent (F.). 70
Vines. 441
Violette. 17
Virlet. 50
Viviand-Morel. 68, 84, 86, 88, 90 106, 130, 213, 218, 246, 247, 252 à 257, 262, 265, 280, 361, 381, 376 382, 384, 350, 409, 417, 421, 433
Vogelsang. 306
Voith (C.). 56
Vries (de). 312, 355
Vuillemin. 44, 199, 313, 326

W

Wagner. 26
Wahlenberg 46
Wakker (J.-H.). 307, 310, 313 391, 392
Walkens. 26
Walter. 11
Warming (Eug.). 26, 87, 144
Watson (H.-C.). 47, 49, 76
Way. 2, 16
Weck. 243
Weddell. 21, 65, 66, 67

Weiss. 297
Wiegmann. 242
Wiesner. 295, 313
Wigand (A.). 288, 311, 355
Wilfarth. 5, 441
Willermoz. 243, 361, 373, 377 390, 421
Will. 15, 16
Winogradsky. 5, 227, 314. 352 440, 441
Wirtgen. 55, 62, 146
Wolff. 5, 36, 440
Wollny (Dr). 318, 321, 351, 352
Wries (v. Vries).
Wrightson. 415

Z

Zacharewicz. 87, 421
Zahlbruckner. 47
Zimmermann. 209, 251, 254, 301 302, 306, 308, 315, 346, 348, 368 433, 435
Zœller (Dr). 18, 19, 23, 430

TABLE ALPHABÉTIQUE

DES 400 LOCALITÉS, STATIONS ET PAYS CITÉS

A

Ain (départ., région de l'). 76, 110
Aix-la-Chapelle. 18
Alb. 70, 123
Algérie. 101
Allemagne. 42, 142, 228, 392, 260, 317, 356
Alpes en général. 26, 48, 79, 111, 120, 123, 124
Alpes françaises. 26, 84
Alpes pennines. 75
Alpnach (lac d'). 121
Alsace. 54, 421
Amérique. 48, 107, 250, 260, 313, 392
Angoumois. 264
Annecy (lac, environs d'). 121
Apremont. 388
Aravis (des). 124
Arbonne. 74
Ardèche. 117, 248, 381
Ardillats (les). 372
Armançon. 235
Artois. 80
Aubrac. 233
Aude. 101, 193, 419
Auge. 233
Augsbourg. 64
Autray-les-Gray. 87
Autriche. 48
Autun. 49, 86
Auvergne. 69, 96, 105, 108, 115, 142
Auxerre. 63, 95
Aveyron. 68, 79, 233, 235

B

Bâle. 76
Bassin de Belley. 76
Bassin de la Coise. 100
Bassin de la Loire. 57, 82
Bassin de la Sallanche et du Trient. 90
Bassin de Paris. 235
Bassin du Rhône. 74, 78, 82, 96, 103, 128
Beauce. 112, 136
Beaujeu. 118, 397
Beaujolais. 78, 79, 234, 372
Beaujolais (Bas-). 126
Beaujolais (Haut-). 75, 89, 118
Beaunant. 121
Beaune 82, 248, 252, 370
Belfort. 58
Belgique. 75, 83, 317, 318
Bellecroix (plateau de). 112
Belledonna. 124
Bellegarde. 112
Belley. 76
Benfeld. 61
Berlin. 48, 51
Berne. 53, 87
Berry. 79
Besançon. 63, 80, 84, 131, 265, 388
Blayais. 386
Bohême (Bohemia). 50, 71, 116
Bollène. 149
Bonn. 55
Bordeaux. 52, 58, 80, 248, 374
Bourg. 76
Bourges. 79, 95
Bourgogne. 369, 377, 395
Boutenac. 101
Bovinant. 124
Breslau. 49, 65
Bresse. 69, 71, 78, 84, 96, 234
Bretagne. 174, 227, 233
Brevenne. 100, 117
Brienz (lac de). 121
Brouilly. 118, 397
Brunswick. 47, 48
Bugey. 123
Butte Saint-Louis. 112

C

Cabardès. 103
Cadillac. 78, 252
Caen. 233
Calvados. 47, 233
Cantal 72
Carpathes (Carpatorum). 48
Causses. 81, 232, 235
Ceindre (Mont-). 149

Centre, Central (v. France, Plateau, Massif). 53, 57, 235
Cévennes. 72
Chaîne des Alpes (v. Alpes).
Chaîne des Voirons. 124
Chaîne du Jura (v. Jura). 53, 123
Chalonnaise (Côte) (v. Côte).
Chamesol. 108
Chamonix. 81
Champagne. 149, 221, 262, 266 383, 413
Chamrousse. 111
Charbonnières 126, 149 à 185, 224
Charentes (les). 246, 262, 266, 369 374, 377, 383, 387, 412
Charente-Inférieure 70, 95, 254
Charleville. 77
Charolais. 233
Charvin (Mont-). 124
Chaux (forêt de). 112
Chazelles-sur-Lyon. 112
Cher. 233
Cherbourg. 51, 59
Chili. 230, 370
Clermont-Ferrand 73
Cognac. 81, 253
Coise (la). 100
Côme (lac de). 121
Conlie. 71
Cornouailles. 114
Corrèze. 233
Corse. 102
Coteaux dauphinois. 120
Coteaux lyonnais (v. Lyonnais). 117
Coteaux viennois. 117
Côte chalonnaise. 82, 252
Côte-d'Or. 251
Côtière de la Dombes. 72
Cour des Comptes. 42
Couzon. 122
Creusot (le). 85, 118
Croatie. 63
Cruzeilles. 123

D

Dampjoux. 108
Dauphiné. 78 115, 123
Delémont. 108
Deluz. 108
Deux-Sèvres. 95
Dijon 95, 131
Dombes (v. Côtière, Lisière). 67 69, 78, 233, 234, 236
Dordogne. 58, 386
Doubs. 80, 233
Drôme. 107, 149
Duerne. 114

E

Egypte. 236
Eifel. 62
Erfurt 155, 156
Erzgebirge. 50
Est (voy. France).
Europe. 73, 102, 123

F

Fontainebleau. 56, 67, 73, 74, 80 90, 96, 112
Forêt-Noire. 91
Forez. 65, 78, 234, 236
France. 66, 68, 76, 78, 123, 233 317, 393
France centrale (Centre). 95, 96 235, 396
France du Sud-Est. 120
France du Sud-Ouest 95, 375, 377
France méridionale (Midi). 45, 74 101, 103
France occidentale (Ouest). 67, 78
France orientale (Est). 65, 70, 74 95, 96, 396
France septentrionale (Nord). 69 74, 80, 101, 103
Franche-Comté. 84, 108
Fresnay (le). 112
Fribourg. 144
Fuissé. 397

G

Gard. 55, 79, 107, 110, 208, 248, 365
Gascogne. 233
Genève. 78
Gerlsdorf. 116
Germigny. 233
Gier. 100
Gironde. 55 58, 75, 78, 375
Givet. 50
Givors. 126
Glarus. 48
Grande-Chartreuse. 124
Grand-Som. 124
Grätz (Styrie). 339
Grenoble. 46, 78
Grézieu-le-Marché. 148
Grignon. 142

H

Haute-Saône. 65, 66, 87, 388
Haute-Vienne. 67
Hérault. 55, 84, 85, 101, 102, 107 110, 254, 369, 382
Hercynie (voy. Région).
Hollande. 313

I

Iéna. 53, 88
Illinois. 309
Innsbruck. 64
Isère (département). 111
Issoudun. 95
Italie. 313

J

Jura. 22, 62, 64, 79, 87, 91, 96, 105 111, 122
Jura bisontin. 99
Jura méridional. 78, 99

K

Kaisertuhl. 58
Karpathen. 82
Karpathes. 116
Kitzbühel. 49

L

Laissey. 108
Languedoc. 85, 235, 375
Laon. 50
L'Arbresle. 117, 126
L'Argentière. 108
La Rochelle. 70, 78
La Tour-de-Salvagny. 149, 164, 166
Ligugé. 65
Limagne. 69, 142
Limonest. 121, 122
Limousin. 91, 115
Limoux. 193
Lisière du Jura (v. Jura).
Lisieux. 50
Lodève. 42, 76, 87
Loire (rives, bassin de la). 236, 375
Loire-Inférieure. 252
Loir-et-Cher. 77
Lomnitz. 116
Londres. 28
Lorraine. 50, 61, 86
Lowerz (lac). 121
Lozanne. 126
Lyon. 28, 53, 66, 76, 100, 108, 115 120, 122, 126, 148, 149, 248, 265 271, 397
Lyonnais (v. aussi Monts, Région). 72, 73, 74, 77, 78, 79 87, 114, 116 125, 232, 268, 372

M

Mâconnais. 397
Mail Henry IV. 74
Maine-et-Loire. 91, 251, 370
Majeur (lac). 121
Manche (côtes de la). 236
Mantoche. 388
Marne. 420
Massif Central (v. Plateau, Centre). 81, 86
Maurienne. 120
Mayenne. 82, 227
Méditerranée (bords de la). 377
Méry (Mont-). 124
Metz. 47
Meudon. 142
Midi (v. France). 101
Minervois. 103
Montagne-Noire. 103
Montbéliard. 54, 55, 108
Mont-Blanc. 75
Mont-Ceindre. 149, 382
Mont-d'Or. 71, 89, 121, 122, 126 231, 232
Mont-du-Chat. 75
Montuçon. 64
Mont-Ventoux (v. Ventoux). 110
Montpellier. 68, 72, 79, 80, 82, 101 102, 110, 248, 251, 254, 267, 419
Monts Jura (v. Jura). 84, 96
Monts Lyonnais (v. Lyonnais). 73 89, 100, 125, 148, 231, 234, 374
Mornant. 113, 114
Morvan. 231 à 235
Moscou. 58
Moselle. 47
Moulin-à-Vent. 118
Munich (München). 62

N

Nancy. 50, 67, 90, 131
Narbonne. 101
Néerlandaise (région). 28
Nice. 101
Nil. 236
Nîmes. 65, 72
Nivernais. 233
Nord (v. France).
Normandie. 47, 233
Norvège. 127

O

Ognon (vallée de l'). 98
Oisans. 114
Oka. 81
Orne. 86
Ouest (v. France).
Oullins. 71

P

Parc de la Tête-d'Or. 155
Paris (v. Bassin). 235, 318
Pélussin. 116
Perche. 233
Plateau Central (v. Massif, Centre). 52, 55, 73, 86
Plateau lyonnais. 72, 113, 126
Pic du Midi. 91
Pilat (Mont). 234
Poitiers. 264
Poitou. 264, 385
Pomeys. 148, 149 à 185, 224
Ponsas. 117
Pont-l'Evêque. 51
Porrentruy. 54, 137, 139
Pouilles (les). 419
Prague. 72
Provence. 72, 235, 383
Prusse. 132, 142
Pyrénées. 114, 235

Q

Quercy. 233

R

Région autunoise. 113
Région hercynienne (v. Hercynie).
Région jurassienne (v. Jura). 122
Région lyonnaise (v. Monts, Lyonnais). 76, 78, 112, 149, 231
Région néerlandaise. 28
Rennes. 82

Revermont. 110, 111
Reynard (le). 112
Rhin (plaine, vallée du). 260, 356, 392
Rhône (v. Bassin du).
Rhône (fleuve, eau du). 100, 377
Rive-de-Gier. 112
Riverie. 113
Roc de Chères. 121
Rochecardon. 121
Rocroy. 50
Rouergue. 233
Royan. 95

S

Sahara. 62
Sain-Bel. 108
Saint-Bonnet-le-Froid. 110
Saint-Bonnet-s.-Montmelas. 74
Saint-Cyr-au-Mont-d'Or. 122, 149 à 185, 270
Saint-Dié 63, 65
Saint-Etienne. 65
Sainte-Catherine-s.-Riverie. 113
Sainte-Foy-l'Argentière. 112, 117, 372
Sainte-Foy-les-Lyon. 271
Saint-Fons. 121
Saint-Genis-d'Aoste. 75
Saint-Gothard 22
Saint-Guilhem-le-Désert. 110
Saint-Paul-Trois-Châteaux. 149, 151
Saint-Pétersbourg. 82, 199
Saint-Restitut. 149
Saint-Symphorien-s.-Croix. 110, 112
Saint-Vallier. 117
Salève (Mont). 123, 124
Sallanche (la). 90
Salzbourg. 56 57, 65, 72
San-Francisco. 48
Saône. 73, 234
Saône-et-Loire. 234
Sarthe. 63, 71
Sathonay. 71
Saumurois. 375, 387
Savoie. 105, 107
Saxe. 114
Schlagendorf. 116
Ségalas (le). 232, 235
Semur. 235
Sens. 221
Sillé-le-Guillaume. 71
Sologne. 227, 233
Solutré. 397
Spitzberg. 62
Stockolm. 45
Sud (v. France, Midi).
Sus-Est, Sud-Ouest (v. France).
Suède. 48
Suisse. 74, 75, 78, 85, 98, 108, 233

T

Talairan. 419
Talloires. 121
Tarn. 233, 62
Tatra (Haut-). 116
Terres-Froides. 78
Thénaudière (la). 112
Thorins. 118
Thün (lac de). 121
Toscane. 63
Toulouse. 79, 103
Trient. 90
Troyes. 67, 131, 221
Tyrol. 48 59, 115

U

Ubaye. Ubayette. 68
Uriage. 111

V

Valais. 66, 86
Valfleury. 112
Vallée de la Brevenne (voir Brevenne). 115
Vallée de la Coise. 100
Vallée de l'Ognon. 98
Vallée de l'Ubaye. 68
Vallée du Rhône. 79
Vallée du Reposoir. 124
Vallée de Germigny. 233
Vallée d'Auge. 233
Var. 387, 420
Vaucluse. 149, 251
Vaugneray. 108, 110, 118, 166
Vendée. 60
Ventoux (Mont-). 110, 111
Vergy (Mont-). 124
Vervins. 50
Vienne (département). 95
Villard-de-Lans (massif du). 124
Villefranche. 68
Vire. 48
Vitry-le-François. 84
Voirons (les). 124
Vosges. 64, 84, 51, 91, 96, 233, 234
Vuache. 111, 123

W

Washington. 107, 260
Würtemberg. 70, 115, 123

Y

Yonne. 63, 65, 142

Z

Zurich. 77, 314

TABLE ALPHABÉTIQUE

DES 850 PLANTES ET DES 70 CÉPAGES CITÉS ET ÉTUDIÉS (1)

A

Abies Douglasii. 272
Absinthe. 106
Acacia. 181, 145
Acanthacées. 22
Acer. 272
Acer pseudo-platamus. 347, 432
Acétabulaires. 14
Achillea atrata. 40, 129
— *moschata.* 40, 128
Acorus gramineus. 431
Adianthum Capillus-Veneris. 121
Ægopodium podagraria. 431
Agapanthus umbellatus. 431
Agrostis stolonifera. 219
— *vulgaris.* 219
Ailanthe. 195
Ailanthus glandulosa 272
Ainactis calcarea. 14
Aira aggregata. 219
— *caryophylla.* 219
— *cæspitosa.* 99
flexuosa. 97, 99
Ajoncs. 174, 219, 222, 265
Ajuga reptans. 432
Algues. 6, 24, 36, 69, 108, 143, 195 201, 268, 294, 327, 346, 351, 364, 371
Algues d'eau douce. 14, 268, 314
— marines. 14, 217, 423
— siphonées. 328
Allium porrum. 133
Allosorus crispus. 98, 144
Alnus glutinosa. 57
— *incana.* 56
Alopecurus pratensis. 220
Althæa hirsuta. 118, 272
— *syriaca.* 431
Alyssum saxatile. 431
— *spinosum.* 102
Amarante 6
Amaryllis. 391
Amelanchier. 98
Amentacées. 18, 19
Ampélidées. 23
Ampelopsis hederacea. 272, 428
Amylobacter. 308
Anabæna azollæ. 313, 327
Anarrhinum bellidifolium. 156 166, 167, 171
Andromeda polifolia. 34
Andropogon ischæmum. 118
Andryala sinuata. 156
Angelica pyrenæa. 98, 219
Anthoxanthum odoratum. 219
— *puellii.* 264, 265
Anthyllide. 132, 199
Anthyllis montana. 98
— *vulneraria.* 112, 113 117, 118, 125, 220
Antirrhinum majus. 102
Arabis albida. 431
— *alpina.* 98
Arctium Lappa. 33
Arnica montana. 99, 103, 124 219, 222
Arnoseris. 97, 98
Arnoresis minima. 98
Aronia rotundifolia. 117
Artemisia campestris. 118
Arum. 431
Arum maculatum. 433
Arundo mauritanica. 431
Asclépiadées. 23
Asclepias fruticosa. 264

(1) Une même plante peut être citée tantôt sous son nom français ou vulgaire, tantôt sous son nom latin; exemples: Buis, *Buxus;* Grande Fougère, *Pteris*, etc. Il sera donc bon, dans les recherches, *de consulter ces deux noms.*

Asclepias vincetoxicum 115
Asperge. 6, 143
Aspergillus. 353
Aspidistra elatior. 431
Aspidium oreopteris. 124
Asplenium Breynii. 98
— *Halleri.* 98, 113, 116, 123
— *septentrionale.* 27, 42 76, 98, 99, 102, 123
— *viride.* 98, 123
Astrantia minor. 124
Atamantha cretensis. 98
Atriplex. 108
— *rosea.* 105
Atriplicées. 105
Aubépine. 264
Aubergine. 318
Aucuba. 431, 433
Avoine. 6, 136, 143, 204, 206, 221 230, 231, 243, 367
Azalées. 130, 220, 264
Azolla. 313, 327

B

Bacillus 311, 254
Bacillus amylobacter. 308, 311
— *caulivorus.* 318
— *coli communis.* 350
— *megaterium.* 312
— *solanacearum.* 318
Bactéries. 288, 312, 313, 314, 351 352, 355, 392
Bactéries des Légumineuses. 227 313, etc.
Bacterium. 310, 312, 353, 354
Bacterium sulfuratum. 108
— *termo.* 353
Baguenaudier. 221
Balisier. 347, 432
Bambou. 15, 24
Bananier. 15
Barbarée vulgaire. 433, 434
Barbe de Capucin. 424
Béforines. 23
Beggiatoacées. 24, 108
Begonia. 23, 199, 318, 347, 432, 433
Begonia argyrostigma. 432
— *rex.* 432, 436
Berberis vulgaris. 117, 118
Bette. 424
Betterave. 5, 18, 106, 133, 229 230, 257, 317, 347, 392, 432
Betula alba. 123, 124, 347, 432
Bigarreaudier. 220
Blé. 17, 23, 132, 156, 159, 161, 175 202, 206, 231, 309, 313, 316
Blechnum boreale. 103, 12 1444,
Bois-de-Chèvre. 97
Bois Sainte-Lucie. 222
Borraginacées. 24, 433
Bouleau. 15, 18, 220, 222
Brassica napus. 133
— *oleracea.* 133
Bruyères. 17, 19, 76, 99, 102, 106 117, 119, 122, 130, 204, 219, 222 264, 265
Bugle. 432
Bugrane. 220, 222
Buis. 18, 73, 74, 75, 97, 110, 121 220, 222, 347, 436
Bupleurum aristatum 117
— *falcatum.* 118
— *fruticosum.* 102
Buxus sempervirens. 98, 110, 113 118, 110, 428

C

Cactées, *Cactus.* 23, 311
Café. 18
Café des champs. 172
Cakile. 105
Caladium. 432
Calamagrostis arundinacea. 431
Calamus. 24
Calcéolaire. 264
Calluna vulgaris. 102, 103, 219
Calycotome spinosa. 101, 102
Camelia. 220, 264
Campanula cervicaria. 156
— *glomerata* 118
— *pusilla.* 98
Campanule. 110
Canche. 219
Canna annei. 301, 368
Canne à sucre. 315
Cardon 435
Carduus defloratus. 98
Carex. 34
Carex bizoides. 99
— *canescens.* 219
— *glauca.* 33
— *humilis.* 79
— *japonica.* 431
— *pilulifera.* 124, 219
Carlina acaulis. 98
— *vulgaris.* 117
Carotte. 203, 229, 230, 350
Carya alba. 301, 368
Caryophyllacées. 18
Cattleya Mossiæ. 318
Céleri. 424, 435
Celtis 22
Centaurea amara. 118
— *argentea.* 432
— *nemoralis.* 98
Cephalotaxus. 264, 270
Cerastium. 432
Cerasus Mahaleb (corymbosa). 97 98, 117, 221
Céréales. 17, 19, 23, 132, 135, 136 204, 229, 347, 386, 391, 418
Cerisier. 220 428
Ceterach officinarum. 113, 117 118, 121, 125
Champignons. 64, 67, 100, 313 322, 329, 350, 352, 391, 392
Chanvre. 5, 22, 135, 230, 391
Chara. 14, 21, 35, 41
Chardon-Marie. 432
Chardons. 424
Charme. 15, 19

Châtaignier. 21, 45, 64, 65, 70 87 96, 99, 102, 110, 111, 117, 131, 132 134, 180, 181, 214, 220, 222, 263 274, 364 374
Chêne. 18 19, 24, 106, 145, 264 347, 364, 374, 428, 432
Chêne chevelu ou lombard. 110, 221
Chenevis. 18
Chénopodiacées. 217
Chenopodium. 105 108
Chicorée 203 350, 424
Chlorella vulgaris. 314, 327
Chlorocrepis staticifolia. 99
Chou. 6, 143, 230, 367, 432
Chou marin (v *Crambe*).
Chrysanthème. 219
Chrysanthemum indicum. 264, 431
— *segetum.* 219
Cichorium Intybus. 33
Cineraria. 264
Cirsium acaule. 118
Cistes de Narbonne 101
Cistes des garrigues. 102
Cistus salvifolius. 101 106, 130
Citron. 18
Citrus. 23
Clathrocystis. 108
Clostridium 308
Coccobactera septica. 312
Coccus 322
Cognassier. 220, 264, 274, 290, 313
Colchique. 227
Colza. 6, 143, 205, 230
Composées. 22, 156
Confervacées. 328
Conifères. 18, 19, 220, 221, 328 347, 391, 364, 423, 426, 428
Conocephalus. 22
Convallaria maialis. 431
polygonata. 113
Convolvulus. 272
Corallines 14
Coronilla emerus. 97, 98, 199, 220
— *varia.* 118, 220
Coronilles diverses. 132, 220, 222
Corrigiola littoralis. 36, 98
Corylus. 432
Coudrier sanguin. 347, 427
Crambe maritima. 19, 105
Crassulacées. 23, 156, 220
Cratægus. 313
Cresson. 6, 143, 219, 316
Crête-de-Coq. 227
Crételle. 265
Croton. 432
Crucifères. 19, 22, 105, 133, 155, 328
Cryptogames. 6, 215, 268, 296
Cryptogames vasculaires. 100 410, 426
Cucurbitacées. 22
Cupressées. 23
Cuscute. 329, 391
Cyclamen europæum. 98, 220
Cydonia. 272, 301, 368
Cypéracées. 19, 204
Cypripedium. 220
Cytise des Alpes. 132, 220, 221
Cytises divers. 221, 222
Cytisus alpinus. 301, 368
— *laburnum.* 97, 98

D

Dactylis glomerata. 133
Danthonia decumbens. 99
Daphne laureola. 98
Daucus carota. 272
Dentaria pinnata 118
Deschampsia flexuosa. 123, 124
Desmidiacées. 14, 22, 35
Dianthus graniticus. 128
— *hirtus.* 129
— *saxicola.* 98
— *virgineus.* 102
Diatomacées. 14
Dicotylédones. 21, 328, 424, 425
Digitale pourprée. 24, 106, 119, 122 139, 140, 205, 219, 222, 363
Digitalis lutea. 85, 116
— *parviflora.* 116, 118, 199
— *purpurea.* 97, 98, 122, 124 140, 156 à 185, 269 et suiv.
Diplococcus. 322
Dipsacées. 18, 133
Draba aizoides. 98
Dracæna. 23, 432
Drosera rotundifolia. 144

E

Echinospermum lappulum. 118
Epilobium collinum. 123, 128
— *montanum.* 129
— *obscurum.* 96
Epinard. 294, 295, 296
Equisétacées. 19, 204
Equisetum. 24
Equisetum eburneum. 33
Erable. 15, 106, 264, 431
Erica. 220, 265
Erica arborea. 102
— *carnea.* 200
— *cinerea.* 101, 102, 200
— *multiflora.* 199
scoparia. 101, 102
— *vulgaris.* 200
Ericinées. 18
Erinus alpinus. 98
Eriophorum. 34
Erodium petræum. 102
Ers ervillier. 132
Eryngium campestre. 117, 125
Esparcette. 132, 221
Euactis calcivora. 14
Eucladium verticillatum. 121
Euphorbiacées. 22
Euphorbia cyparissias. 220
— *lathyris.* 433, 434
— *verrucosa.* 125
Evonymus. 272

F

Fabiana imbricata. 264
Fagus silvatica. 347, 432
Farfugium grande. 431
Faux-ébénier. 221
Fenu-grec. 235
Fève. 122
Féverole. 230
Ficaire. 431
Ficus. 198
Figuier. 24
Filago. 97, 166, 167, 169
Filago arvensis. 156, 171
— *gallica.* 98
— *minima.* 98, 123, 156, 171
Filicinées. 22
Flouve. 219, 265
Fougère (Grande-). 17, 106, 119, 122, 219, 222, 265
Fougères. 17, 18, 19, 22, 23, 24, 27, 76, 110, 117, 121, 123, 130, 204, 220, 268, 328, 425 429
Fragaria. 272
Fragaria chiloensis. 431
Fraisier. 289, 433, 434
Froment. 29, 221, 222, 230
Fuchsia. 347, 431
Fucus. 18, 205
Funaria calcarea. 125
— *hygrometrica.* 125
Funckia. 431
Fumana procumbens. 117
Fusain du Japon 431, 434, 435

G

Galéga officinal. 265
Galeobdolon luteum. 311
Galeopsis dubia. 99
— *ochroleuca.* 156 à 185, 192, 275, 280, 330
Genêt à balai. 76, 86, 106, 119, 122, 174, 219, 222, 264, 265
Genêt d'Angleterre. 219, 265
— d'Espagne. 132, 220
— purgatif ou griot. 219
Genêts, Genettes. 17, 97
Genista anglica. 219
— *candicans.* 102
— *linifolia.* 106, 130
— *sagittalis.* 117
Gesnériacées. 230
Gentiana punctata. 124
Gentianes diverses. 110, 220
Gesses. 132, 220, 221
Gincko biloba. 428
Glaucium flavum. 19
Glaux maritima. 105
Glechoma hederacea. 432
Globulaire. 220, 222
Globulariacées. 22
Globularia vulgaris. 199
Gloxinia. 318
Glyceria distans. 105
Glycine. 264
Gnaphalium. 432
Gnaphalium arenarium. 33
— *norwegicum.* 98
Graminées. 13, 18, 19, 23, 24, 91, 204, 206, 219, 221, 227, 229, 230, 296, 371
Gui. 43, 83
Gymnospermes. 23, 426
Gymnostomum curvirostrum. 121
Gypsophila muralis. 98
— *repens.* 116
Girophores. 76

H

Haricot. 36, 37, 132, 136, 156, 159, 161, 175, 197, 221, 230, 311, 316, 318, 326
Hedera. 431
Hedera helix. 272, 434
Helianthemum canum. 98
— *fumana.* 75
— *vulgare.* 112, 117, 220
Heliotropium peruvianum. 264
Helleborus fœtidus. 98, 112, 113, 117, 110, 121, 220, 222
Helodea. 41
Hemerocallis fulva. 431
Henmieris linearis. 264
Hépatiques. 66, 67, 268
Herniaria glabra. 64, 134
— *hirsuta.* 156
Hêtre. 15, 18, 19, 23, 24, 426
Hieracium amplexicaule. 98
— *boreale.* 99
— *Jacquini.* 98
Hippocrepis comosa. 199
Holcus mollis. 219
Houblon. 22, 221, 230
Houlque. 219
Houx. 426
Hydrangea. 431
Hypericum hirsutum. 118
— *humifusum.* 155 à 185
— *pulchrum.* 97, 98, 99, 155 à 185, 269 et suiv.

I

Illecebrum verticillatum. 98 156
Imula conyza. 118
— *dysenterica.* 33
— *hirta.* 126
— *montana.* 95, 117
Iris fœtidissima. 431
Ivraie. 227

J

Jacinthe. 313, 392
Jasione. 97, 219, 330, 363
Jasione montana 33, 98, 101, 156 à 185, 200, 219, 270 et suiv.
— *perennis.* 156 à 185, 219
Jonc. 219
Jonc des Indes. 23
Joubarbe. 288, 324, 347
Juglans cinerea. 23
— *nigra.* 23, 192
— *regia.* 22, 23

Juncus filiformis. 98
— *glaucus.* 33
— *squarrosus.* 97, 98, 219

K

Kalmia. 220
Kernera saxatilis. 98

L

Labiacées, Labiées. 156, 288, 311
Lactuca Plumieri. 98
— *viminea.* 102
Laiche. 219
Laitue. 347, 418, 424
Lamium maculatum. 432, 436
Laserpitium gallicum. 102
— *siler.* 98
Lathrée. 329
Lathyrus macrorrhizus. 155
Laurier des bois. 222
Lavandula stœchas. 101, 102
Lavatère en arbre. 433, 434
Lecanora calcarea. 121
Lecidea geographica. 99
Légumineuses. 5, 6, 23, 106, 132 133, 139, 142, 143, 159, 174 220 221, 222, 227, 229, 230, 235, 313, 329
Lemna. 36
Lentille. 37, 221, 265
Leontodon pyrenaicus. 98
Leptothrix. 311
Leucanthemum corymbosum. 118
Levures. 312, 315, 322
Libanotis montana. 118
Lichens. 14, 27, 65, 68, 71, 74, 92 99, 100, 120, 123
Lichens silicicoles. 24
Lierre. 289
Lierre terrestre. 432
Ligustrum japonicun. 431
Lilas, *Lilac.* 272, 289
Limonia. 23
Limosella aquatica. 33
Lin. 18, 107, 230
Linaire. 108
Liseron. 289
Lithospermum arvense. 24
— *purpureo-cœruleum.* 199
Lobéliacées. 220
Lotier corniculé. 132, 220, 222
Lupins. 6, 87 132, 140, 141, 143 174, 178, 221, 222, 265, 324, 330, 363
Lupin blanc. 132, 141, 142, 143, 221
— bleu. 132, 142, 221
— jaune. 132, 142, 221
Lupins calcicoles. 132
Lupinus albus. 132
— *luteus.* 22
— *mutabilis.* 132
— *nanus.* 132
— *polyphyllus.* 142, 155 à 185, 270 et suiv.
Luzerne. 132, 137, 138, 174, 221 230, 391
Luzula albida. 99, 124
— *maxima.* 99
Luzule. 97
Lychnis grandiflora. 264
— *viscaria.* 106, 130
Lycopodium. 220, 268
Lycopodium annotinum. 124
— *alpinum.* 124
— *clavatum.* 103, 124
— *complanatum.* 18
— *selago.* 124

M

Maclura. 22, 192
Maïs. 156, 159 161, 176, 230, 231 280, 367, 433, 434
Maïs du Japon. 431
Malus. 272
Malvacées. 23, 391
Marronnier. 24, 382
Matricaria parthenoides. 264
Medicago sativa. 137
Mélampyre. 391
Melica ciliata. 118
Mélilot. 132 221
Melissophyllum silvaticum. 118
Mentha. 272, 288, 431
Mercurialis perennis. 113, 118
Merisier. 220, 222, 264
Mesembrianthemum. 22, 23, 192
Meum atamanthicum. 39
— *mutellina.* 98
Micrococcus. 309 à 312, 317, 322 326, 353
Micrococcus aceti. 312
— *amylivorus.*
— *lardarius.* 313, 326
Microzymas. 308, 309, 353
Mildew. 391
Millet. 19
Mœhringia muscosa. 97, 98
Moisissures. 64, 312, 313, 350
Molinia cœrulea. 431
Monocotylédones. 328, 424, 425, 426
Monotrope. 426
Montia. 97, 98
Montia fontana. 98
— *rivularis.* 36
Mousses. 27, 35, 41, 64, 65, 66, 67 68, 71, 76, 92, 99, 121, 123, 144 268, 328
Moutarde. 219
Mucédinées. 317, 353
Mucorinées, *Mucor.* 353
Mûrier. 18 22, 326
Muscinées. 34, 65, 66, 76, 100 120, 410
Myrtus communis. 431
Myxomycètes. 317, 391

N

Nardus strictus. 103
Navet. 106, 239, 230, 231
Negundo fraxinifolium. 431
Nelumbium. 18

Nerium. 23
Nerium oleander. 431
Nicotiona colossea. 431
Nid-d'Oiseau. 329
Nigelle. 220, 272
Nitrobactéries. 314
Nitrosomonas europœa. 314
Nombril de Vénus. 101
Nostoc. 327, 423
Noyer. 15, 119, 130, 221, 426
Nuphar. 18
Nymphœa. 18

O

Oignon. 313
Oignons à fleurs. 39
Olivier. 313
Onagrariacées. 23
Onobrychis sativa. 118, 125
Ononis natrix. 86, 99, 137, 138, 220
Oranger. 264, 213
Orchidées, *Orchis*. 220, 264, 318, 433
Orchis junius 117
Orge. 19, 221, 222, 230
Orme. 15
Ormeau. 382
Ornithopus. 97, 98, 330
Ornithopus perpusillus. 33 98, 155 à 185, 219, 269 et suiv.
— *sativus*. 155 à 185, 221
Orobanche. 329, 391
Orobe, *Orobus*. 175, 324, 363
Orobus tuberosus. 97, 98, 99, 122 155 à 185, 269 et suiv., 330
— *vernus*. 97, 98, 122
Orontium japonicum. 431
Orpin. 347
Orties. 22
Oscillariées. 313
Oseille. 227
Oseille (Petite-). 106, 119, 219 222, 265
Oxalis. 18, 23

P

Pachysandra procumbens. 431
Palmiers. 426
Panicées. 24
Papilionacées. 71, 155
Parietaria. 22, 108
Paronychiacées. 155
Pasteuriacées, *Pasteuria*, 313, 352
Pavot 18
Pêcher. 260, 264, 274, 290, 309 392, 419
Pelargonium. 318, 433
Penicillium glaucum. 188, 353
Péronosporacées. 418
Petit-houx. 222
Peucedanum cervaria. 118
Peuplier. 18, 23, 291, 309, 364
Phalaris. 431
Phalaris arundinacea. 431
Phanérogames. 6, 7, 100, 215, 268 294, 329, 410, 429
Phaseolus. 175, 272, 288, 315
Phegopteris calcarea. 95, 129
— *dryopteris*. 128
— *triangularis*. 128
Phormium tenax. 431
Phyllobium. 325
Phyllomicrobium (addenda .
Pied-d'Oiseau. 219
Pin. 18, 181, 425
Pin d'Alep. 221
Pin maritime. 20, 65, 101, 131, 134 184, 221, 263, 274
Pin noir d'Autriche. 68, 110, 221, 222
Pin sylvestre. 72, 122, 221, 222 274, 374
Pinus maritima. 102
Pirus. 272, 288
Pivoine. 347, 432
Plantago arenaria. 33
— *maritima*. 105
Platane. 23, 382, 426
Platanus vulgaris. 272
Plombaginacées. 22
Poa vivipara. 399
Poireau. 424
Poirier. 195, 253, 256, 260, 264 274, 290, 313, 361, 369
Pois. 132, 138, 143, 221, 230
Pois chiche. 221, 265
Polygala grandiflora. 264
Polygonacées.. 18, 20
Polygonum. 108
Polygonum fagopyrum. 22, 192
Polypode. 220
Polypodium calcareum. 98, 220
— *ireoides*. 307, 315
Polypogon Monspeliensis. 105
Pomacées. 130
Pomme de terre. 14, 18, 19, 106 107, 203, 205, 221, 222, 229, 230 231, 311, 313, 316, 317, 318, 392, 418
Pommier. 253, 313
Populus. 133
Potamogeton. 35
Potentilla argentea. 106, 130
Potentilles. 432
Prêles. 14, 227, 268
Primevères (de Chine, etc.). 431 433, 434
Primulacées. 105
Pseudocommis vitis. 316, 391
Pteris. 99
Pteris aquilina. 42, 83, 87, 122 124, 128, 181, 219, 145, 268, 272
Puccinie. 391
Pulmonaria. 433
Pyrethrum corymbosum. 117

Q

Quercus. 272
Quercus cerris. 110, 111
— *pannonica*. 301, 368
— *pedunculata*. 133

R

Radis. 135
Raisin. 18
Ranunculus hederaceus. 219
— *repens.* 431
Raphanus sativus. 135
Rave. 230
Renoncules. 219, 431
Renouée d'Orient. 433, 434
Reseda lutea. 133
— *luteola.* 133
Rhamnus alpina. 98
Rhizobium leguminosarum. 159
167, 325, 326, 352
Rhododendron ferrugineum. 40, 111
121, 124, 128, 220, 264
Rhododendron hirsutum. 40, 129
Rhynchostegium murale. 121, 125
— *tenellum.* 121
Ribes. 301, 368
Richardia. 431, 432
Ricin. 22
Ricinus. 23
Robinia pseudo-acacia. 108, 193
264, 272, 429
Romaine. 424
Ronces. 220
Roripa pyrenaica. 156 à 185, 219, 330
Rosacées. 19
Rosage. 111, 130
Rosa rubrifolia. 432
— *gallica.* 108
Roses *Rosa*, 108, 220, 301, 368, 432
Rose trémière. 391
Rosier. 432
Rosiers sauvages. 220
Rouille. 391
Rubia peregrina. 125
Rumex. 23
Rumex acetosella. 219
— *scutatus.* 118
Ruscus aculeatus. 98, 118, 426
Rutabaga. 230, 231
Ruta graveolens. 431

S

Saccharomyces. 353
Sainfoin. 18, 221, 230
Salades. 435
Salicornia. 105
Salix. 272
Salsola. 105
Salsolacées. 217
Salvia glutinosa. 311
— *officinalis.* 431, 432
Sambucus nigra. 431
Samolus. 105
Sanve. 227, 418
Sapin de Douglas. 221, 264
Sapins. 18, 99
Sarothamne. 97, 99, 265
Sarothamnus purgans. 219
— *scoparius.* 98
— *vulgaris.* 124, 200
Sarrasin. 6, 135, 143, 221, 222, 230
Sauge. 432
Saules. 18, 23, 220, 221
Saxifragacées. 22, 220
Saxifraga aizoon. 22, 127
— *aspera.* 144
— *granulata.* 431
— *stellaris.* 98
Saxifrage sarmenteuse. 432
Scabieuse. 20
Scabiosa columbaria. 133
— *succisa.* 133
Scenedesmus acutus. 314, 327
Scilla bifolia. 118
Scilles. 118, 119
Scirpus cæspitosus 34, 103
Scléranthe. 219, 363
Scleranthus annuus. 156, 171
— *perennis* 97, 98, 123
155 à 185, 219, 270 et suiv.
Sclerotinia. 350
Scrofularia canina. 99
Scrofulariacées. 156
Sedum. 428
Sedum annuum. 98, 124
— *anopetalum.* 117
— *dasyphyllum.* 102
— *reflexum.* 20
— *Telephium.* 431
Seigle. 19, 221, 222, 230, 265
Sélaginelles. 268
Selinum carvifolia. 106, 130
Sempervivum. 22, 23, 184, 192
288, 324, 428
Sempervivum tectorum. 156, 170, 272
Senecio adonidifolius. 106, 130, 156
Septoria. 391
Serradelle. 221, 265
Sesleria cærulea. 97, 98, 116
Sherardia arvensis. 125
Sideritis hyssopifolia. 98
Silene italica. 102
— *rupestris.* 98
— *Vallesia.* 110
Silybum maculatum. 432
Sinapis arvensis. 418
— *cheirantha.* 219
Soja de Chine. 132
Solanacées. 23
Solanum Dulcamara. 431
— *tuberosum.* 22, 192
Solorina saccata. 121
Sonerilla margaritacea. 432
Sorgho. 230, 392
Spargoutte. 6
Spergula pentandra. 156, 219
Spergule. 219, 221, 265
Spicularia icterus. 260, 392
Spirillum. 311, 354
Spirobacillus Cienkowskii. 354
Spirochæte. 311
Spiræa callosa. 301, 368
— *ulmaria.* 431
Sphagnacées. 34, 89
Sphagnum. 89, 144

Sphagnum rufescens. 144
— *mucronatum.* 144
— *falcatum.* 144
Sphaignes. 66, 107, 144, 268
Stachys recta. 118
Staphylococcus. 323
Statices. 22, 105
Stellaria holostea. 98
Streptococcus. 322, 326
Streptococcus Pasteurianus.
Sulfuraria. 24, 108
Sumac. 291, 347
Swertia perennis. 34
Sycomore. 382
Symphytum officinale. 431

T

Tabac. 18, 19, 230, 313, 433, 434
Tanacetum vulgare. 431
Taxus. 23
Teesdalia nudicaulis. 155 à 185 270 et suiv.
Teucrium Botrys. 116
— *chamædrys.* 112, 117, 118
Thalictrum aquilegifolium. 98
— *calcareum.* 98
Thallophytes. 100, 410
Thesium alpinum. 98
Thlaspi campestre. 33, 156
— *silvestre.*
Thuya. 264, 272
Thymus. 431
Tilleul. 386
Tomate. 318
Topinambour. 229, 230
Tormentille. 99
Torula. 322, 353
Tradescantia discolor. 306
— *zebrina.* 432
Trèfle. 18, 132, 138, 174, 220, 221
Trèfles divers. 220 221, 230
Tremble. 19, 309
Trianea bogotensis. 311
Trichostomum tophaceum. 121
Trifolium. 125
Trifolium arvense. 155 à 185, 270 et suiv.
— *incarnatum.* 129, 133
— *medium.* 118
— *Molinerii.* 128
— *pratense.* 133
— *rubens.* 117, 118, 138
Triglochin maritimum. 105
Trigonelle. 265
Trinia vulgaris. 117
Tropeolum majus. 272
Turneps. 230, 231
Tussilago farfara. 33, 108
— *petasites.* 33

U

Ulex. 265
Ulex europœus. 200, 219
— *nanus.* 219
Ulex parviflorus. 102
Ulmus. 23
Umbilicus pendulinus. 101
Urocephalum. 308
Urtica. 108
Urticacées. 22, 133

V

Vacciniacées. 220
Vaccinium. 347, 428
Vaccinium myrtillus. 122
— *oxycoccos.* 34
— *uliginosum.* 34
Valeriana montana. 98
— *tripteris.* 106, 130
— *saliunca.* 110
Valonia utricularis. 202
Verbascum. 432
Verbascum thapsus. 113, 118
Verbénacées. 22
Veronica acinifolia. 219
— *Andersonii.* 431
— *urticifolia.* 98
Véronique. 219
Verrucaria. 121
Vesces. 132, 138, 220, 230
Victoria regia. 18
Vigne. 15, 17, 18, 19, 23, 27, 79, 106 184, 195, 276, 277 et suiv., 286, etc ; 316, 319, 324, 330, 332, 336, 337 338, 339, 343, 356, 386, 388, 392 394 et suiv., 413, 418
Vigne américaine. 70, 72, 78, 80 81, 83, 84, 132, 208, 361, 364, 365 384, 389, 393, 399, etc.
Vigne européenne. 390, etc.
Vignes françaises. 238, 384, 393
— de pays. 403
Vigne-Vierge. 289, 347, 426, 427, 429
Vinca major et *minor.* 431
Vincetoxicum officinale. 118
Viola segetalis et *agrestis.* 219
— *calaminaria.* 18, 108, 129
— *odorata.* 95, 431
— *sudetica.* 98
— *tricolor.* 129
Violettes tricolores. 219
Viscum album. 83
Vitis. 192, 272, etc.
Vulpin. 219

W

Weigelia amabilis. 431
Wistaria sinensis. 272

Y

Yucca aloœfolia. 431, 432
— *quadricolor.* 432

Z

Zea mays. 301, 368
Zoochlorelles.
Zooglœa. 353
Zostéracées. 217

APPENDICE

LISTE DES CÉPAGES CITÉS (1)

Æstivalis. 395
Aramon-Rupestris Ganzin. 396
Berlandieri d'Angeac. 396
Berlandieri N° 2. 396
Cabernet × Berlandieri. 396
Cabernet-Sauvignon. 364
Canada. 395
Candicans. 395
Carignan. 397
Champin. 395
Chasselas × Berlandieri. 396
Cinerea 395
Clairette de Die. 397
Clinton. 395
Colorado. 395, 396
Cordifolia. 395
Cordifolia-Rupestris. 395
Elvira. 395
Enfariné. 396
Folle blanche. 266, 403
Gaillard. 396
Gamay. 396
Gamay × Couderc. 397
Gamay × Riparia. 272
Gamay × Vialla. 272
Gigantesque. 395
Herbemont. 247, 251, 395
Jacquez. 373, 389, 395, 403
Labrusca. 395
Monticola. 395
Monticola-Riparia. 396
Mourvèdre × Rupestris. 396
Noah. 395, 396
Novo-Mexicana. 395
Othello. 395
Pinot blanc. 396
Riparia. 208, 388, 389, 391, 363
365, 380, 395, 396, 403
Riparia-Cordifolia. 395
Riparia × Cordifolia × Rupestris. 395
Riparia Gloire. 395, 404
Riparia Grand-Glabre. 395, 404
Riparia Ramond. 395
Riparia-Rupestris. 395, 396
Riparia Schribner. 395
Riparia tomenteux. 395
Rupestris. 363, 380, 395
Rupestris-Berlandieri. 396
Rupestris-Cinerea. 395
Rupestris du Lot. 396
Rupestris Ganzin. 395
Rupestris Martin. 395
Rupestris-Æstivalis. 395
Solonis. 388, 395, 396, 403
Taylor. 395
Taylor-Narbonne. 395, 396
Terret-bourret. 397
Tisserand. 396
Triumph. 395
Vialla. 395
Vinifera-Berlandieri 396
Vinifera-cinerea. 395
Vinifera-Cordifolia. 395
Vinifera-Monticola. 396
Vinifera-Riparia. 395
Vinifera-Rupestris. 395
Vitis Arizonica. 395
Vitis Berlandieri. 395, 396, 403
Vitis Monticola. 396
Vitis Vinifera. 399

(1) Dans cette liste nous avons conservé exactement l'appellation et l'orthographe données à chaque cépage par le viticulteur qui s'en est occupé et que nous citons.

DEUXIÈME THÈSE

PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ

Zoologie. — Les Poissons électriques.

Géologie. — Stratigraphie et Tectonique des Monts Lyonnais ; leur place dans les lignes directrices de la géologie du sol français.

Vu et approuvé :
Besançon, le 23 décembre 1899.
Le Doyen de la Faculté des Sciences,
L. BOUTROUX.

Vu et permis d'imprimer :
Besançon, le 26 décembre 1899.
Le Recteur,
Ch. LARONZE.